

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Mechanismus pohonu vnitřních dveří

Mechanism of Inside Door Driving Unit

Student:

Bc. Radek Benada

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Fries Jiří, Ph.D.

Ostrava 2012

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.

- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

Adresa trvalého bydliště:

Bc. Radek Benada

Luční 5, Kravaře, 747 21

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BENADA, R. *Mechanismus pohonu vnitřních dveří: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, (49) s. Vedoucí práce: Fries, J.

Cílem práce bylo navrhnout mechanismus pohonu vnitřních dveří rychlostní vlakové jednotky. Součástí bude návrh křídla dveří a úchytů do skříně vozu. Hlavní části budou vyrobeny z hliníku, kromě úchytů z oceli. Pohon bude realizován pomocí elektromotoru s převodovkou a přenášen ozubeným řemenem na křídlo dveří.

ANOTATION OF MASTER THESIS

BENADA, R. *Mechanism of Inside Door Driving Unit: Master thesis*. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2012, (49) s. Thesis head: Fries, J.

The objective was to design a drive mechanism of internal door speed train unit. Part of proposal will be door and handles to the wagon body. Main parts will be made of aluminum, except steel handles. The drive will be realized by electric motor with gearbox and transferred by toothed belt to the door wing.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radek Benada**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**
Specializace: **70 Zemní, těžební a stavební stroje**
Téma: **Mechanismus pohonu vnitřních dveří
Mechanism of Inside Door Driving Unit**

Zásady pro vypracování:

V rámci tématu proveďte rešerši dané problematiky (druhy, funkce a úloha dveří u železničních vozidel; vnější a vnitřní dveře - funkční a normativní požadavky, technické řešení. Navrhněte křídlo vnitřních prosklených posuvných dveří a mechanismus jeho pohonu, proveďte pevnostní kontrolu uchycení dveřního mechanismu do skříně vozidla včetně dalších pevnostních a kinematických výpočtů. Světlost dveří je 750mm x 1950mm. Pohon může být elektrický s klasickým elektromotorem a s převodovkou, pneumatickým pohonem nebo lineárním elektromotorem. Max. hmotnost křídla je 40kg. Rychlost posunu dveří 0,15-0,2 m/s. Max. přetížení 3g.

Seznam doporučené odborné literatury:

EN 14752 - Railway applications. Body entrance systems,
TSI - Technické specifikace pro interoperabilitu evropského železničního systému, směrnice 2008/164/ES
DIN 27 203 Part 3: Entrance doors - type of construction: Sliding plug doors
PRCEN/TS 45545-2 Železniční aplikace - Požární ochrana železničních vozidel - Část 2: Požadavky na požární vlastnosti materiálů a součástí
DIN 5510-2 Preventive fire protection in railway vehicles - Part 2: Fire behavior and fire side effects of materials and parts - Classification, requirements and test methods
UIC 560 Doors, Windows, Steps, Handles and Handrails of Coaches and Luggage Vans
UIC 566 Loadings of coach bodies and their components
DIN EN 12663 Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČENÍ.....	2
ÚVOD.....	6
1 DRUHY, FUNKCE A ÚLOHA DVEŘÍ U ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL	7
1.1 Druhy dveří u železniční dopravy	7
1.2 Funkce dveří u železniční dopravy.....	13
1.3 Úloha dveří u železniční dopravy.....	13
2 VNĚJŠÍ A VNITŘNÍ DVEŘE - FUNKČNÍ A NORMATIVNÍ POŽADAVKY, TECHNICKÉ ŘEŠENÍ	15
2.1 Části dveřního systému	15
2.2 Bezpečnostní požadavky	17
2.3 Reálné projekty	18
3 NÁVRH KŘÍDLA PROSKLENÝCH DVEŘÍ	21
3.1 Rám dveří	21
3.2 Prosklená část	24
3.3 Připevnění skla	25
3.4 Silikonová lišta	26
3.5 Madlo	26
3.6 Spodní vodící lišta	26
4 NÁVRH MECHANISMU OTEVÍRÁNÍ	27
4.1 Nosný profil.....	27
4.2 Vodící kolečka.....	33
4.3 Návrh motoru s převodovkou.....	33
4.4 Návrh ozubeného řemenového pohonu	35
4.5 Sponka na řemen	37
5 NÁVRH UCHYCENÍ DVEŘNÍHO MECHANISMU	38
5.1 Zavedení zatížení úchytů.....	38
5.2 Výpočet svaru na úchytu	39
5.3 Výpočet svaru na úchytu	40
5.4 Výpočet šroubových spojení na úchytu	41
6 ZÁVĚR.....	46
7 LITERATURA	47
8 SEZNAM PŘÍLOH	49

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČENÍ

C_p	[-]	provozní součinitel
D_d	[mm]	průměr díry pro šroub
D_p	[mm]	maximální průměr řemenice
$E_{1,2}$	[MPa]	materiálový modul pružnosti
F_a	[N]	axiální síla působící na šroub
F_c	[N]	odstředivá síla na řemenici
F_{ix}	[N]	síly působící v ose x
F_{iy}	[N]	síly působící v ose y
F_{iz}	[N]	síly působící v ose z
F_{lepidlo}	[N]	teoretická hodnota přenesené síly lepidlem
F_{max}	[N]	pracovní síla působící na šroub
F_o	[N]	předepínací síla působící na šroub
F_P	[N]	maximální povolená síla zavírání dle normy
F_{po}	[N]	obvodová síla na řemenici
$F_{\text{před}}$	[N]	síla předpětí řemenového převodu
F_t	[N]	síla předpětí řemenového převodu bez zatížení
F_{ts}	[N]	tečná síla působící na šroub
$F_{t\text{max}}$	[N]	maximální zatížení větve řemenového převodu
$F_{\text{valení}}$	[N]	odpor proti valení na kolečku dveří
$F_{\text{zavírání}}$	[N]	síla potřebná při zavírání
S_i	[mm ²]	plochy pro výpočet těžiště
J_Y	[mm ⁴]	kvadraticky moment
J_{YT}	[mm ⁴]	kvadraticky moment vztažený k těžišti
L_{\S}	[mm]	tloušťka šroubového spoje
M_{oA}	[Nmm]	moment vztažený k podpoře A
M_{oAz-y}	[Nmm]	moment vztažený k podpoře A v ose z-y
M_{oAx-y}	[Nmm]	moment vztažený k podpoře A v ose x-y
M_{omax}	[Nmm]	maximální moment v pravém profilu
$M_{oz-yI-V}$	[Nmm]	moment v ose z-y v bodech I-V
$M_{ox-yII-III}$	[Nmm]	moment v ose z-y v bodech II a III
M_u	[Nmm]	utahovací moment
M_{tm}	[Nmm]	moment tření pod maticí
M_{tz}	[Nmm]	moment tření v závitě

$O_{\text{řemenice}}$	[mm]	obvod řemenice
P	[W]	výkon při zavírání dveří
P_{motor}	[W]	výstupní výkon motoru
$P_{\text{závit}}$	[mm]	stoupaní závitu
R_{Az-y}	[N]	reakce v podpoře A v ose z-y
R_{Ax-y}	[N]	reakce v podpoře A v ose x-y
R_B	[N]	reakce v podpoře B
R_{Bz-y}	[N]	reakce v podpoře B v ose z-y
R_{Bx-y}	[N]	reakce v podpoře B v ose x-y
R_{e11373}	[MPa]	mez pevnosti v tahu pro mat. 11373
R_{mAl}	[MPa]	mez pevnosti v tahu pro hliník
F_{ruky}	[N]	síla vyvolaná opřením osoby
S_i	[mm ²]	plochy pro výpočet těžiště
S_{lepidlo}	[mm ²]	plocha pro nanesení tmelící hmoty
S_p	[mm ²]	celková plocha profilu
U_{motor}	[V]	vstupní napětí pro motor
a, a_2	[mm]	výšky hliníkového profilu rámu dveří
a_{ξ}	[-]	konstanta pro materiál pro ocel
b, b_2	[mm]	šířky hliníkového profilu rámu dveří
$b_{\text{dveř}}$	[mm]	šířka dveří pro výpočet dveřnatosti
$c_1, c_2, c_{10} \text{ a } c_{20}$	[MPa]	součinitele pro výpočet před. síly šroubu
$c_{\text{st/dyn}}$	[-]	koeficient pro statické/dynamické namáhání
c_{tep}	[-]	koeficient pro teplotní zatížení
d	[mm]	velký průměr závitu
d_2	[mm]	střední průměr závitu
d_3	[mm]	malý průměr závitu
$d_{\text{dveř}}$	[-]	součinitel dveřnatosti
$d_{\text{kolečko}}$	[mm]	průměr kolečka
e	[mm]	rameno valivého odporu
f_{plochy}	[-]	součinitel tření styčných ploch na úchytu
f_t	[-]	součinitel tření v závitu
f_m	[-]	součinitel tření pod maticí
i	[-]	převodové číslo převodovky
i_s	[-]	počet šroubů

k_{pp}	[-]	bezpečnostní součinitel pravého profilu
k_s	[-]	výsledný bezp. součinitel šroubového spoje
k_{sv}	[-]	výsledný bezp. součinitel svarového spoje
k_u	[-]	výsledný bezp. součinitel v ohybu úchytu
k_z	[-]	součinitel spoluzabírajících zubů
$l_{dveř}$	[mm]	délka vlaku pro výpočet dveřnatosti
l_{teor}	[mm]	teoretická délka sponky
l_{sponka}	[mm]	navržená délka sponky
l_u	[mm]	šířka úchytu
l_{sv}	[mm]	délka činného svaru
$m_{dveři}$	[kg]	hmotnost pohybující se části dveří
m_{motor}	[kg]	hmotnost součástí v ose hřídele motoru
m_{vkolo}	[kg]	hmotnost součástí v ose vratného řem. kola
n_{motor}	[min ⁻¹]	výstupní otáčky motoru
$n_{převodovka}$	[min ⁻¹]	výstupní otáčky převodovky
n_s	[-]	součinitel zavedení síly
q_{prof}	[N/mm]	spojité zatížení nosného profilu
t	[mm]	tloušťka hliníkového profilu rámu dveří
t_{sv}	[mm]	tloušťka svaru
t_u	[mm]	tloušťka úchytu
$v_{zavírání}$	[m/s]	rychlost zavírání dveří
x_T	[mm]	vzdálenost krajního vlákna k těžišti v ose x
y_T	[mm]	vzdálenost krajního vlákna k těžišti v ose y
y_i	[mm]	vzdálenosti pro výpočet v ose y
$z_{1,2}$	[-]	počet zubů řemenice
β	[°]	úhel profilu metrického závitu
γ	[°]	úhel stoupání závitu
σ_{\perp}	[MPa]	napětí ve svaru
$\sigma_{lepidlo}$	[MPa]	mez pevnosti v tahu pro lepidlo
$\sigma_{oI,II}$	[MPa]	napětí na stranách I a II
σ_{red}	[MPa]	redukované napětí ve šroubu
σ_{Tah}	[MPa]	napětí v tahu ve šroubu

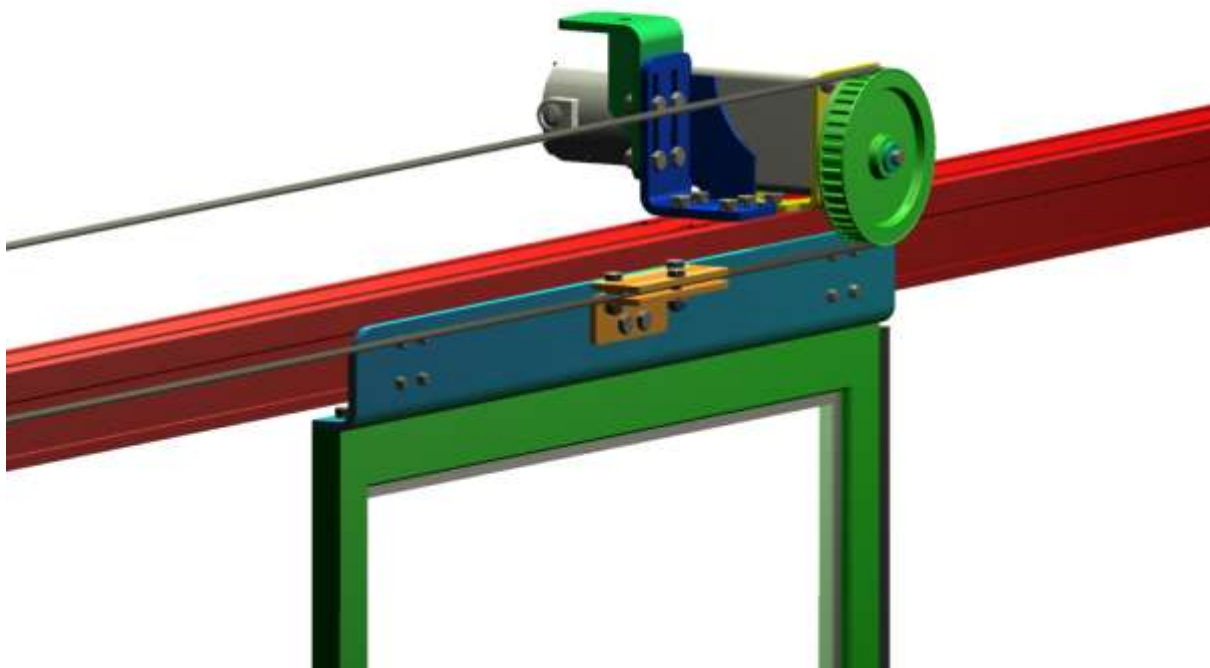
η_{prevod}	[-]	účinnost řemenového převodu
τ_{Mtz}	[MPa]	napětí v krutu ve šroubu
φ'	[°]	třecí úhel závitu
ψ	[-]	součinitel těsnosti šroubového spoje

ÚVOD

Mým úkolem je navrhnout pohon, mechanismus pohonu, úchyty a křídlo dveří pro rychlostní vlakovou jednotku. Dveře budou oddělovat nástupní prostor od prostoru pro cestující. V práci budou řešeny čistě dveře, oddělující přepážka, či podrobná návaznost na další prvky vlaku nebude součástí. I přesto bude možno výsledný produkt práce použít jako fungující dveře, pokud se dopracují okolní návaznosti.

Jedná se o dveřní systém poslední doby, kdy je otevírání fotobuňkou, tedy není potřeba tlačítek na dveřích. Pohon bude zajištěn elektrickým motorem a přes ozubený řemen bude přenášena otevírací/zavírací síla na křídlo dveří. Dveře budou hliníkové a prosklené bezpečnostním sklem v celé výši.

Dveře odpovídají požadavkům zadání, a také požadavkům norem.



Obrázek 0.1 – Detail modelu návrhu

1 DRUHY, FUNKCE A ÚLOHA DVEŘÍ U ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL

Dveře jako takové neslouží jen k nástupu, výstupu cestujících nebo obsluhujícího personálu soupravy. Slouží také k nakládce materiálu, který se může soupravou převážet. Tvoří tak jeden ze základních komponentů vozidel hromadné přepravy osob, a to jak do požadovaných funkcí, tak z hlediska bezpečnosti cestujících. V této kapitole budou popsány jednotlivé druhy a typy dveří, dále jejich funkce a úloha.

1.1 Druhy dveří u železniční dopravy

Jelikož dveří je mnoho typů a mohou se dělit několika pohledů:

Dle polohy ve vozidle:

- Externí – Tento typ odděluje vnitřní prostor soupravy od okolního prostředí. Jedná se masivní typ dveří, který musí odolávat mimo jiné tlakovým rázům a povětrnostním vlivům okolního prostředí.
- Interní – Jedná se o dveře oddělující jednotlivé oddíly ve vozu, popřípadě o dveře vedoucí do speciálních částí vozu, jako jsou např. toaleta, kuchyňka atd. Oproti dveřím vnějším jsou řádově jednodušší, protože na ně nepůsobí povětrnostní podmínky. Proto například upevnění do skříně vozu není potřeba tak masivní.
- Mezivozové – Tento typ je uzpůsoben k umožnění přestupu osob mezi jednotlivými jednotkami vlaku. Navíc jsou na tyto dveře kladeny často požadavky ohledně hluku a také požární bezpečnosti. Těchto dveří může být více typů. Může se jednat o dveře s neustále otevřeným průchodem, poté jsou nároky na zvukovou či tepelnou izolaci zanedbatelné, jelikož obojí tyto izolace obstará dvojité měch spojující soupravu.

Dle způsobu otvírání:

- Posuvné – Tento se většinou používá u vozidel se svařovanou ocelovou skříní, avšak je možno se s tímto typem setkat i u vozidel s hliníkovou stavbou. Dveře se poté zasouvají do vnitřní části skříně vozu nebo do kapsy vytvořené z vnitřní části hliníkové skříně. Tímto se ušetří prostor a cestující mohou snadněji nastoupit. Nevýhodou je vytvoření nesouvislého povrchu se schodem mezi křídlem dveří a skříní vozu, což vede

k nežádoucímu vzdušnému toku a vzniku vibrací. Byly použity např. u jednotek Metra 8171 (obr. 1.1).

- Předsuvné – používá se opět u obou typů vozidel viz. posuvné dveře. Pokud se jedná o hliníkovou stavbu, bylo by velmi konstrukčně náročné, ne-li nemožné vytvářet prostor v bočnici skříně vozu. Proto je jednodušší pomocí mechanismu a vodicích lišt vyvést dveře na vnější stranu bočnice vozu. V tomto je i výhoda těchto dveří a to utvoření souvislé plochy s bočnicí soupravy. Používají se např. u vozů pro regionální přepravu (Regionova) v tomto případě se jedná o svařovanou skříň (obr. 1.2).



Obrázek 1.1 – Posuvné dveře [20]



Obrázek 1.2 – Předsuvné dveře [16]

- Zalamovací – tento typ se používal u starších typů vozů. V dnešní době se můžeme s nimi setkat u motorových vozů řady 854 (obr. 1.3).
- Otočné – tento typ je možno vidět jako externí nebo interiérové dveře. Používají se například jako vstupní na pozici řidiče, avšak nejsou výjimkou i jako interní dveře pro oddělení částí vozů. Externí typ může také plnit funkci tlakotěsnosti. S tímto typem je možno se setkat na vozech CityElefant (obr.1.4).



Obrázek 1.3 – Lámací dveře [16]



Obrázek 1.4 – Otočné dveře [16]

- Skládací - tento typ se používal u starších tramvají. Do dnešní doby přežívá jeho aplikace u Tramvaje T3 (obr. 1.5) a jejich renovovaných typů.



Obrázek 1.5 – Skládací dveře [19]

Dle způsobu ovládání:

Toto rozdělení se rozvíjelo postupem doby, kdy bylo možno zavést automatizaci otevírání dveří. Většina dveří je v dnešní době vybavena mikroprocesorovou jednotkou, která se stará o zprostředkování informací o stavu otevření/uzavření dveří strojvedoucímu. Také pokud se jedná o vyšší typy ovládaných dveří se stará o otevírání a zavírání dveří, popřípadě vyhodnocuje bezpečnostní problémy s uzavřením předmětu do dveří a je schopna řídit sílu zavírání dveří.

- Ruční – uživatelsky nejméně přívětivé. V dnešní době spíše na ústupu. Zůstávají většinou u dveří pro strojvedoucího, avšak lze se s nimi setkat i jako s dveří jiných typů. Typický příklad jsou otočné dveře. Tyto dveře nepotřebují žádný pohon ani prostor pro zajištění a proto je jejich zástavbová velikost minimální. Záporem může být nutnost vyvinout fyzickou sílu k otevření či udržení otevřených dveří.
- Poloautomatické – Otevírání je zajištěno silou obsluhy. Zavírání a jištění proti otevření je prováděno automaticky z postu strojvedoucího. Díky tomuto odpadla nutnost uzavírat dveře osobně. Vše je řízeno centrálně a strojvedoucí vidí, v jaké poloze se dveře nachází. Automatická část je ovládána:
 - Pneumaticky, elektricky
- Automatické – nejmodernější typ dveří. Obvykle řízeny centrálně, nebo svou vlastní mikroprocesorovou jednotkou. Otevírání, či zavírání je plně pod kontrolou automatiky. Mohou být pohaněny:
 - Pneumaticky, elektricky nebo hydraulicky

Dle typu pohonu:

- Pneumatický – lze využít centrálního tlakového vzduchu, který se používá v soupravách. Mezi výhody patří, že médium tedy vzduch při úniku nepůsobí znečištění okolí, dále je nevybušný a nehoří, a prvky mechanismu jsou jednoduché konstrukce a z toho vyplývá nízká cena prvků. Naproti tomu vzduch je stlačitelný a nedokážeme zajistit rovnoměrný chod, dále je hlučný z důvodu expanze vzduchu a má vysoké požadavky na těsnost okruhu.

- Hydraulický – zvládá mnohem větší přetížení než pneumatický pohon, a také kapalina dokonale maže soustavu. Nevýhodou je vysoká náročnost na přesnou výrobu jednotlivých prvků kvůli možnému úniku kapaliny, která způsobuje ekologické škody. Dále bývá problém s umístěním hydrogenerátoru.
- Elektrický – v poslední době je nejpoužívanější. Je to nejčistější typ pohonu, jelikož nepotřebuje žádné kapaliny ani vzduch ke svému pohybu. Má nízkou hladinu hluku, snadnou ovladatelnost a řízení, nevytváří vibrace ani pulzační momenty a má dlouhou životnost. Nevýhodou je nepoměr mezi výkonem a hmotností pohonu.

Dle počtu křídel dveří:

- Jednokřídlé
- Dvoukřídlé

Dle bezpečnostního využití:

- Uzpůsobené k evakuaci cestujících – např. čelní nouzové dveře, které mohou mít jako součást pohotovostní žebřík, dále je potřeba pamatovat na invalidní cestující.
- Neuzpůsobené pro evakuaci cestujících – např. dveře do nákladového prostoru.

Dle usnadnění pohybu při nástupu/výstupu:

Obvykle je mezi nástupištěm a podlažím vlaku menší nebo větší mezera a výškový rozdíl. Toto působí potíže nejen postiženým spoluobčanům, ale i starším lidem. Proto pro usnadnění je možno se setkat s těmito typy pomoci.

- Přemostění (obr. 1.6) - snižuje rozdíl mezi vozidlem a nástupištěm na vzdálenost, která dělá nastupování možné i pro vozíčkáře. Vyznačuje se hladkým designem.



Obrázek 1.6 – Přemostění

- Rampa (obr. 1.7) – také zaručují bezpečný přístup k vozidlu pro vozičkáře, a to i v případě, že je značný rozdíl mezi podlažím vlaku a úrovní nástupiště. Může být automatická, avšak většinou je potřeba zásahu obsluhy.
- Výsuvné schůdky (obr. 1.8) – pracují podobně jako rampa, avšak předpokládá opačný výškový problém. Tedy vyšší úroveň podlaží vlaku.



Obrázek 1.7 – Rampa [12]



Obrázek 1.8 – Výsuvný schůdek [12]

Lze se setkat i se systémem, kdy se nevysouvá celá plošina, ale jen schůdky:

- Posuvné schůdky (obr. 1.9) – také ke snížení rozdílu mezi nástupištěm a podlažím vlaku a k zajištění, aby osoby se zdravotním postižením mohly také nastoupit do vlaku pohodlně. Jsou s nastavitelnou výsuvnou dráhou, která dovoluje přizpůsobit se různým nástupišťům.
- Výklopné schůdky (obr. 1.10) – mají oproti předchozím pevnou dráhu, a nedá se tedy měnit poloha po vysunutí.



Obrázek 1.9 – Posuvný schůdek [12]



Obrázek 1.10 – Výklopný schůdek [12]

1.2 Funkce dveří u železniční dopravy

Dveře musí odolávat všem povětrnostním vlivům a respektovat podmínky provozu. Jsou vytvořeny klima komory, které simulují venkovní podmínky, a testuje se odolnost dveří. Zejména je důležité brát v úvahu lokalitu, kde se bude jednotka pohybovat, a proto je zásadní:

- Rozsah teplot - Je určujícím parametrem podnebí. Norma popisuje čtyři třídy. Každá třída uvádí rozsah teplot vně, uvnitř vozidla a uvnitř přístrojové skříně.
- Vlhkost – hlavním problémem u vlhkosti je, že kondenzuje na chladných površích. To nesmí ovlivnit funkci nebo poruchu zařízení.
- Výskyt ledu, sněhu – sníh se může vyskytovat v mnoha podobách, a pokud jde velmi malé krystalky, ani tyto se nesmí dostat přes izolaci okolí dveří. To by mohlo na delších tratích roztáváním a opětovným mrznutím způsobit problémy.

Dveře v železniční dopravě musí (v závislosti na typu dveří): [17]

- být odolné proti dešti i proti tlaku mycí vody
- odolávat zatížením dle požadavků (zajištění tlakotěsnosti a tlakopevnosti)
- být minimalizován prostup hluku dovnitř vozidla
- být minimalizován přestup tepla do vozu a z vozu
- být udržovatelná mytím a mycími prostředky
- mít definované požární vlastnosti
- být zaručena dlouhodobá stálost funkce
- být zajištěna bezpečnost cestujících při provozu vozidla – zavírání, otevírání ale i při provozu (nouzové otevírání, zajištění za jízdy)

1.3 Úloha dveří u železniční dopravy

Hlavní úlohou dveří je umožnit nástup a výstup cestujících. Rychlost s jakou budou cestující na zastávce schopni vozidlo opustit (nastoupit), závisí na tzv. „dveřnatosti“.

$$d_{dveř} = \frac{\sum b_{dveř}}{l_{dveř}} \quad [-] \quad (1.1)$$

kde $d_{dveř}[-]$ – je výsledná dveřnatost, $b_{dveř}$ [mm] - je šířka dveří a $l_{dveř}$ [mm] – délka bočnice vlaku

Ze vzorce vyplývá, že čím je výsledná hodnota vyšší, tím bude prostor dveří větší. Tato hodnota je přímo ovlivněna rychlostí, kterou vlak jezdí a také jeho typem. Tedy regionální vlaky, které zastavují častěji a na kratší dobu, potřebují rychlejší výměnu cestujících. Naopak rychlovlaky zastavující jednou za delší časový interval a na delší dobu, nepotřebují proto mnoho dveří, jelikož cestující mají dostatek času na výměnu. Pro dálkové rychlovlaky bude proto tato hodnota dveřnatosti mnohem nižší, než pro regionální příměstské spoje.

2 VNĚJŠÍ A VNITŘNÍ DVEŘE - FUNKČNÍ A NORMATIVNÍ POŽADAVKY, TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Dveře jsou složitým prvkem každého vlaku. Proto se na ně vztahuje několik norem, které popisují požadavky na dveřní systémy. Prací konstruktéra je se s těmito požadavky ztotožnit a splnit zadání zákazníka. V této kapitole budou nejdříve představeny části vnitřních a vnějších dveří a poté popsány reálné projekty.

2.1 Části dveřního systému

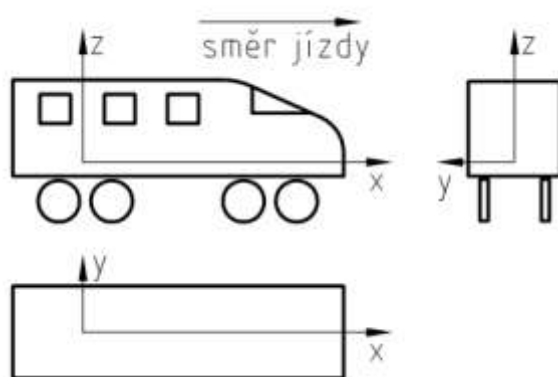
Upevnění do skříně vozu

Ve stropní části a v oblasti bočnic se obvykle používá C drážek. Tyto jsou již přímou součástí protlačovaného hliníkového profilu, nebo pokud je potřeba jen na určitém místě soupravy, se jako v případě svařovaného ocelového rámu přivařují zvlášť. Do této C drážky zapadá tzv. kámen vyrobený z hliníku, který má negativní tvar drážky. Ten může být vyroben jako matice, tedy s dírou opatřenou závitem, nebo jako šroub s hlavou ve tvaru kamene. Jelikož nosnost této drážky je omezená, je možno v případě potřeby navařit na bočnici nebo stropní část destičky s vyšším dovoleným zatížením.

Pokud se jedná o spodní část soupravy, tedy o podlahu, jsou zde také C drážky a desky ovšem na těchto je položena překližka s podlahovou krytinou. Jelikož většinu zatížení je schopno přenést boční a stropní kotvení, je možno zajistit pouze samořeznými šrouby do překližky. Pokud by přesto bylo potřeba přenést zatížení u podlahy, je možno využít drážek, a přes uchycení ukotvit.

Uchycení mechanismu a dveří

Nachází se mezi upevněním do skříně vozu a nosným prvkem mechanismu, popřípadě stěnami navazujícími na dveře. Jeho úkolem je vyrovnat možnou nepřesnost skříně z výroby a přenést síly působící na dveře na skříň a obráceně. Pokud se jedná o nepřesnosti, je nutné počítat s možnou vertikální nerovností střechy z důvodu svařování nebo samotné hmotnosti stropu v rozmezí 10-15 mm. Proto se uchycení navrhuje tak aby bylo schopno toto vyrovnat. Obvykle s použitím drážek, které dovolují šroubům pohyb ve vertikální ose. Jedná-li se o nepřesnosti v podélném směru vlaku, toto se vyrovnává C drážkovým spojením. V případě zatížení, které působí na dveře, norma hovoří o zatížení $\pm 3g$ ve směru pohybu vozidla, až $\pm 3g$ ve svislém směru a $\pm 1g$ ve vodorovném směru o 90° pootočenému od směru pohybu vozidla. Pro názornost obr. 2.1.



Obrázek 2.1 – Zavedení směrů zatížení [4]

Uchycení je jako jedna z mála částí z oceli aby dokázala přenést dané zatížení. Ostatní nosné části jsou většinou vyrobeny z hliníku.

Nosný profil mechanismu dveří

Jedná o profil, ke kterému se připevňují další části jako pohon a jeho příslušenství, mikroprocesorová jednotka či navazující části stěny.

Pohon mechanismu

V případě poháněných dveří, se využívá většinou elektrického nebo pneumatického pohonu. Pneumatický pohon je realizován přímočarým válcem s mechanismem. U elektrického pohonu se využívá elektromotoru s převodovkou, který přenáší hybnou sílu na tvarový řemen nebo pohybový šroub. Dalším typem elektromotoru, který se používá je lineární, avšak prozatím je jeho cena příliš vysoká.

U vnějších dveří se je možno setkat s dovíracími háky, které přitahují dveře proti těsnění. Toto mívá většinou u vysokorychlostních jednotek separovaný pohon.

Vedení pohybu dveří

V případě vnitřních dveří je možno použít nosný profil i jako profil vedení pohybu dveří. Jak již bylo řečeno, síly působící na vnitřní dveře jsou nižší, a také i požadavky na vedení jsou nižší. Vnitřní dveře visí za horní část a ve spodní části bývá pouze kluzné vedení.

U vnějších dveří je vedení masívnější. Hlavní rozdíl je u spodního vedení, které je zajištěno pákou umístěnou na vodící tyči. Páka zapadá do kolejnice vedení na dveřích.

Těsnost dveří

Pokud je u vnějších dveří požadována tlakotěsnost a tlakopevnost, je potřeba vytvořit ideálně utěsněný dvevní rám. Tedy není výjimkou, že výrobce dveří dodává i vnější dvevní rám, do kterého dveře dosedají. Tím získají potřebnou definovanou polohu rámu a křídla dveří.

Uzamykání dveří

U vnitřních dveří není podmínkou, avšak pokud se jedná o dveře, které je potřeba zajistit, z důvodu úschovy zavazadel nebo oddělení prostoru je možné. V tomto případě se zamykání umísťuje vesměs nahoře, ve výjimečných případech dole na rámu dveří. Je možno se také setkat se zajištěním dveří v krajní otevřené poloze, a to pro případ poruchy mechanismu.

U vnějších dveří se také setkáváme se zamykáním, avšak není potřeba zamykání v krajní otevřené poloze.

Otevírání dveří

Lze se setkat se třemi typy otevírání. Mechanické (klika), tlačítko nebo automatické (fotobuňkou). V případě tlačítek musí být umístěny na dveřích, nebo v bezprostřední blízkosti dveří. Dle normy musí být tlačítka opatřeny zelenou barvou a piktogramy pro snadnější rozeznání funkce.

Nouzové otevírání

Je zde pro případ poruchy, nebo nehody soupravy. Vždy se nachází v blízkosti dveří, a to u vnitřních obvykle v horní části v podobě tlačítka. U vnějších dveří se používá obvykle výklopný mechanismus. Oba případy v červeném provedení. Toto otevírání vyřadí z provozu uzamykání, a dveře je tedy možno otevřít silou ruky. Ve dveřích jsou obvykle umístěny prohlubně, nebo madla pro usnadnění otevření.

2.2 Bezpečnostní požadavky

Mechanické sevření překážky

Jelikož se dveře dostávají do přímého kontaktu s cestujícími, je potřeba minimalizovat možnost sevření překážky a pokud k této situaci dojde zajistit vyhodnocení nepřipustné situace. Jako preventivní prvek slouží například zvuková a světelná signalizace, která upozorňuje na uzavírání dveří. Může se i tak stát, že cestující je zachycen do dveří, nebo dveře pouze dveře narazí na překážku. K detekci tohoto

problému se používá gumová lišta na hraně dveří s vnitřní vzduchovou kapsou. V kapse jsou vhodně umístěny elektricky vodivé pásy, které při kontaktu (při stlačení gumové lišty) předávají informaci řídicí jednotce, která uvede dveře do opačného pohybu. Jiným způsobem je například vyhodnocení přetížení elektromotoru. Pro zkoušení těchto požadavků se používá normou předepsaný hliníkový profil. Profil se umísťuje ve 3 výškových úrovních dveří. Pokaždé se zaznamenávají data, která slouží k nastavení řídicí jednotky.

Prvky pro případ požáru

Pro případ požáru v tunelech, kdy je potřeba zastavit šířící se požár je u mezivozových dveří povinná odolnost proti prohoření. Tyto dveře jsou vybaveny ohni odolným sklem, silnější konstrukcí a zavíracím mechanismem funkčním i při výpadku energie (např. pružiny nebo vahadla). Dalším prvkem bývá teplem roztažitelný tmel, který vyplní prostor okolo dveří, z důvodu utěsnění a zabránění prostupu spalin do další části soustavy.

S ohni odolným provedením se lze setkat i u interiérových dveří. Například dveře u řidiče, kde lze sklo vybavit neprůhledným sklem směrem k řidiči.

Dále veškeré díly použité na dveřích musí být certifikovány dle příslušných norem.

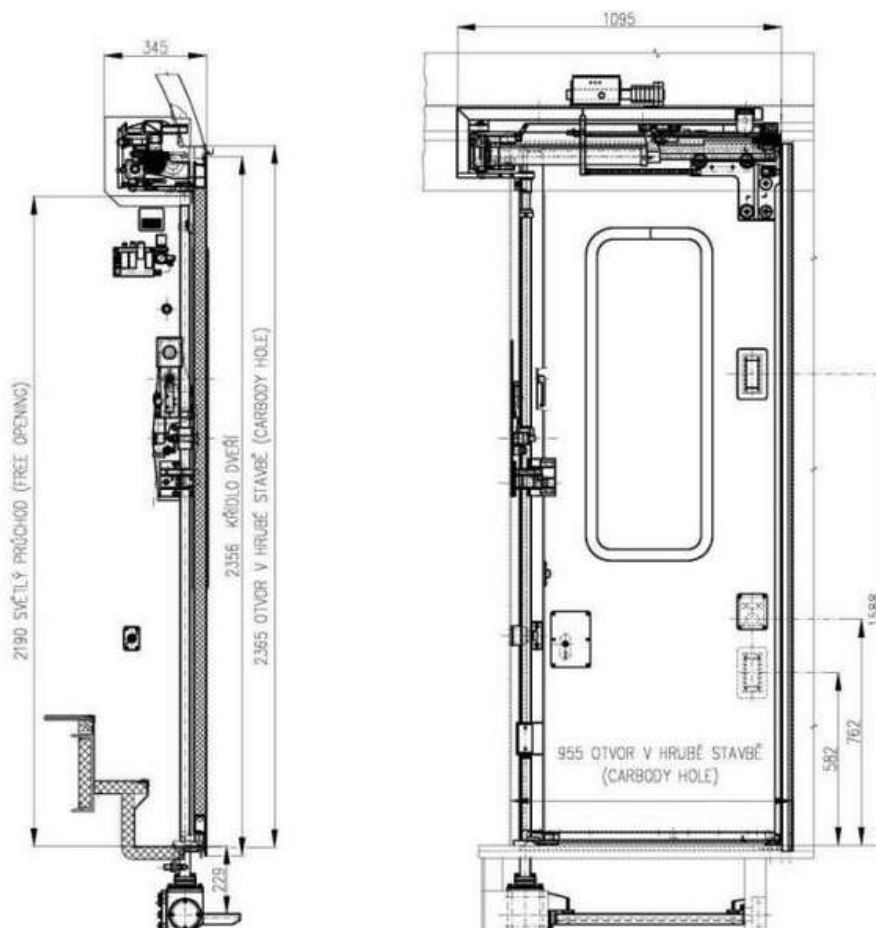
2.3 Reálné projekty

Jelikož dveřních systémů je na trhu mnoho, budou vybrány zástupci 3 hlavních typů.

Vnější dveře (Dveře vstupní předsuvné pneumatické – jednokřídlé od Pars Komponenty s.r.o.)

Dveře vstupní předsuvné (obr. 2.2) se skládají z mechanismu dveří, křídla dveří, dolního vedení se zámkem, nouzového ovládání a ovládacího příslušenství. Pro usnadnění nástupu jsou v dolní části vybaveny sklopnou stupačkou. Křídlo dveří je celolepené, sendvičové konstrukce, složené z Al profilů, krycích Al plechů a voštinového jádra. V horní části křídla dveří se nachází okenní otvor osazený izolačním dvojsklem. Křídlo dveří je možno v zavřené poloze uzamknout. Pro ovládání dveří slouží vnější a vnitřní tlačítka. Horní mechanismus zajišťuje předsun a vedení křídel. Pohonným prvkem je dvojčinný pneumatický válec s tlumením. Dolní vedení je tvořeno převáděcí tyčí a pákou s dvojicí kladek, které zapadají do spodní vodící kolejnice křídla. Zámková část

je tvořena systémem západek a závor, které zajišťují dveře v uzamčené poloze. Odjištění je prováděno jednočinným válcem, v případě poruchy vnějším a vnitřním nouzovým ovládáním. Dveře jsou ovládány pomocí pneumatického bloku a elektronického řídicího systému. Pro zajištění bezpečnosti jsou dveře vybaveny akustickou signalizací a ochranou proti přivření dle normy [16].

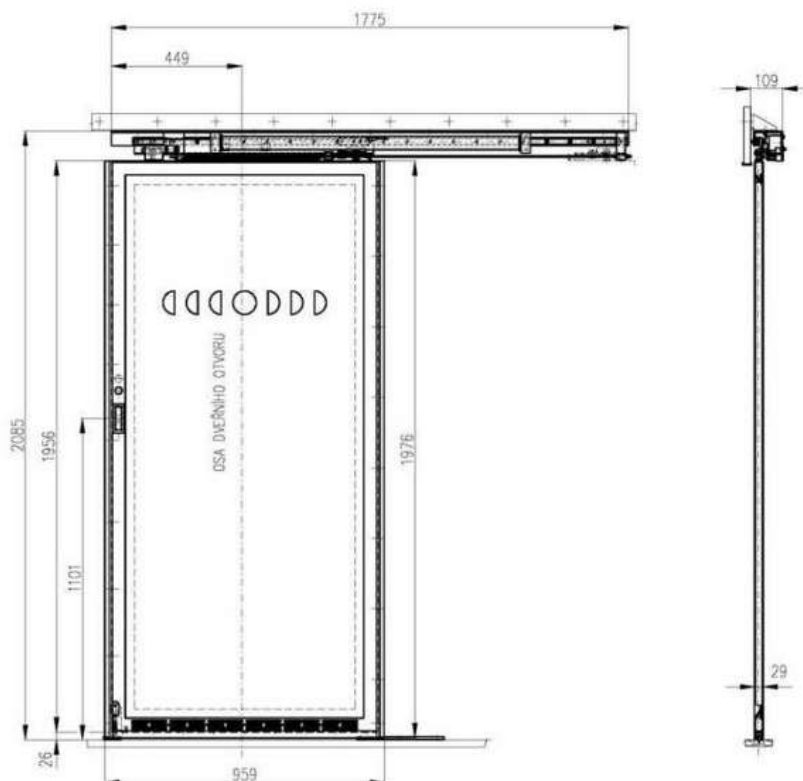


Obrázek 2.2 – Dveře vstupní předsuvné pneumatické [16]

Vnitřní dveře (Dveře vnitřní posuvné – pneumatické od Pars Komponenty s.r.o.)

Dveře vnitřní posuvné (obr. 2.3) se skládají z křídla dveří, mechanismu dveří, dolního vedení a elektropneumatického ovládání. Rám křídla je tvořen hliníkovými profily. Do rámu je vlepena skleněná výplň tvořená bezpečnostním sklem. Skleněná tabule je v horní části opatřena z bezpečnostních důvodů potiskem. Křídlo je oboustranně ovládáno tlačítky, v případě poruchy je možné křídlo ovládat ručně pomocí misek. V horní části je křídlo zavěšeno do mechanismu s lineárním vedením. Pohyb křídla zajišťuje pneumatický válec. Dolní vedení je tvořeno vodítkem, které je uchyceno ve spodní části křídla dveří, vodící kolejnici a nájezdem uchyceným na podlaze. Dveře jsou ovládány pomocí pneumatického bloku a elektronického řídicího systému [16].

Při porovnání s vnějšími dveřmi lze snadno vypořadovat zmíněnou jednoduchost celého systému.



Obrázek 2.3 – Dveře vnitřní posuvné – pneumatické [16]

Mezivozové dveře (Dowaldwerke GmbH)

Tyto mezivozové dveře (obr. 2.4) oddělují vnitřní prostor vozu od průchozího tunelu do dalšího vozu. Jedná se o hliníkové provedení s protipožárním sklem. Sklo je i jako v předchozím případě vybaveno značením na skle, zde leptáním skla. Dveře jsou vybaveny tlačítkem pro otevírání a v horní části zamykáním. Jedná se o samouzavírací typ (zavírání je vyvozeno vratnou pružinou).

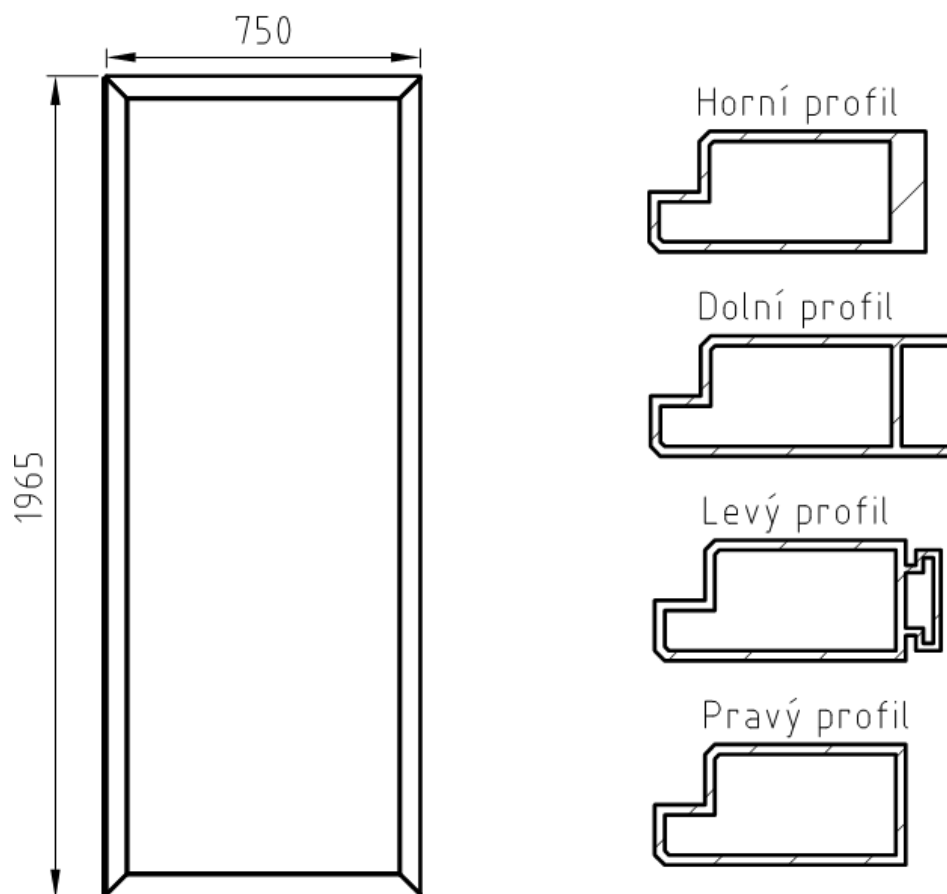


Obrázek 2.3 – Mezivozové dveře [9]

3 NÁVRH KŘÍDLA PROSKLENÝCH DVEŘÍ

3.1 Rám dveří

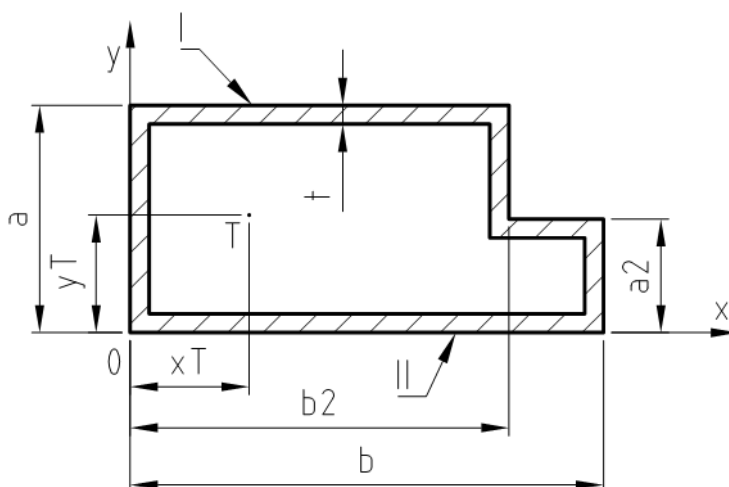
Dveře budou navrženy jako svařovaný rám z hliníkových profilů (obr. 3.1). Každý tento profil bude jiný s ohledem na součásti, které na něj navazují. Profily by mohly být vyrobeny firmou Alupa s.r.o. [7], která vyrábí protlačované profily na zakázku.



Obrázek 3.1 – Hliníkové profily

Dveřní systém musí být schopen vydržet sílu danou dle normy DIN EN 14752, které se může vyskytnout, když se cestující opře o dveřní panel. Za tímto účelem zavřený a zamčený dveřní panel včetně zasklení musí odolat tlakové síle na dveřích vozidla. Zatížení je rozloženo na pás 200mm na výšku, umístěným 1 300 mm nad úrovní podlahy vozu. Hodnota této síly je 1000 N/m. Teoreticky může nastat případ, že se osoba opře pouze jednou rukou o hranu dveří, a tímto bude ověřena stabilita dveří. Tedy pro šířku dveří 750 mm bude síla působící na krajní profil dveří 750 N. Bude počítáno s pravým profilem, který je tvarově nejjednodušší a tedy má teoreticky nejnižší modul průřezu v ohybu.

$J_{YT}[\text{mm}^4]$ profilu nelze najít v tabulce, tedy bude vypočten v práci. K výpočtu bude potřeba mezi výpočty těžiště a $J_Y[\text{mm}^4]$ následně pomocí Steinerovy věty bude posunut modul pružnosti do těžiště.



Obrázek 3.2 – Zjednodušený pravý profil

Rozměry profilu $a=24$ mm, $a_2=12$ mm, $b=50$ mm, $b_2=40$ mm a $t=2$ mm.

Výpočet těžiště

$$y_T = \frac{\sum S_i \cdot y_i}{\sum S_i} \quad [\text{mm}] \quad (3.1)$$

$$y_T = \frac{a \cdot b_2 \cdot \frac{a}{2} + (b - b_2) \cdot \frac{a_2^2}{2} - (b_2 - 2 \cdot t) \cdot (a - 2 \cdot t) \cdot \frac{a}{2} - (b - b_2) \cdot (a_2 - 2 \cdot t) \cdot \frac{a_2}{2}}{a \cdot b_2 + a_2 \cdot (b - b_2) - (a - 2 \cdot t) \cdot (b_2 - 2 \cdot t) - (b - b_2) \cdot (a_2 - 2 \cdot t)}$$

$$\underline{\underline{y_T = 11,14 \quad \text{mm}}}$$

x_T [mm] se nebude počítat, jelikož zatížení ve směru x není střežní.

Výpočet $J_Y[\text{mm}^4]$

$$J_y = \frac{b_2 \cdot a^3}{12} + a \cdot b_2 \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \frac{(b - b_2) \cdot a_2^3}{12} + a_2 \cdot (b - b_2) \cdot \left(\frac{a_2}{2}\right)^2 - \quad (3.2)$$

$$- \left(\frac{(b_2 - 2 \cdot t) \cdot (a - 2 \cdot t)^3}{12} + (a - 2 \cdot t) \cdot (b_2 - 2 \cdot t) \cdot \left(t + \frac{a - 2 \cdot t}{2}\right)^2 \right) -$$

$$- \left(\frac{(b - b_2) \cdot (a_2 - 2 \cdot t)^3}{12} + (a_2 - 2 \cdot t) \cdot (b - b_2) \cdot \left(t + \frac{a_2 - 2 \cdot t}{2}\right)^2 \right) =$$

$$\underline{\underline{J_y = 59093,33 \quad \text{mm}^4}}$$

Výpočet J_{yt} [mm⁴]

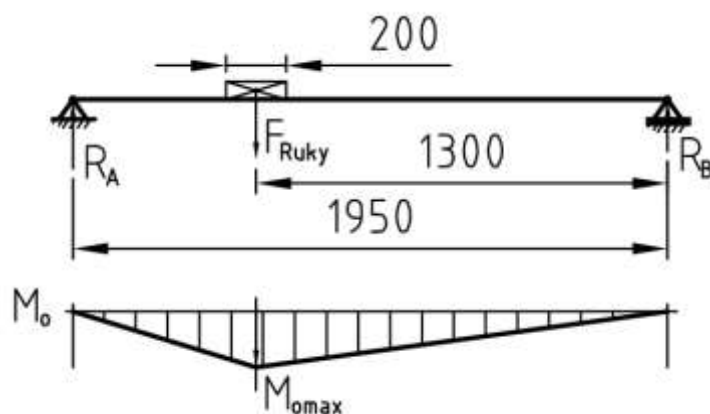
$$J_{YT} = J_Y + y_T^2 \cdot S_p [\text{mm}^4] \quad (3.3)$$

$$J_{YT} = 59093,33 + 11,14^2 \cdot 280 \text{ mm}^4$$

$$\underline{\underline{J_{YT} = 93859,05 \text{ mm}^4}}$$

kde $S_p = \Sigma S_i [\text{mm}^2]$ - plocha profilu

Dále je potřeba zavést nosník, který bude vypovídat o nastalé situaci a umožní spočítat ohybový moment. Tedy hrana dveří (pravý profil) bude vyobrazena jako nosník zatížený spojitým zatížením. Spojité zatížení bude převedeno na jednu sílu ve středu zatížení. Pod nosníkem zobrazen průběh ohybového momentu s maximem $M_{\text{omax}} [\text{N} \cdot \text{mm}]$.



Obrázek 3.3 – Nosič a průběh momentu

Výpočet reakcí

$$\Sigma M_{oA} = 0 \quad [\text{N} \cdot \text{mm}] \quad (3.4)$$

$$R_B \cdot 1950 - F_{ruký} \cdot 650 = 0 \quad [\text{N}] \quad (3.5)$$

$$R_B = \frac{F_{ruký} \cdot 650}{1950} = \frac{750 \cdot 650}{1950} \text{ N}$$

$$\underline{\underline{R_B = 250 \text{ N}}}$$

Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{o\text{max}} = R_B \cdot 1300 = 250 \cdot 1300 \text{ Nmm} \quad (3.6)$$

$$\underline{\underline{M_{o\text{max}} = 325000 \text{ Nmm}}}$$

Výpočet napětí na stranách

Největší napětí bude na nejvzdálenější hraně od osy těžiště. Zobrazení stran I a II na obr. 3.2.

$$\sigma_{oI} = \frac{M_{o\max}}{J_{YT}} \cdot y_T = \frac{325000}{93859,05} \cdot 11,12 \text{ MPa} \quad (3.7)$$

$$\underline{\underline{\sigma_{oI} = 38,58 \text{ MPa}}}$$

$$\sigma_{oII} = \frac{M_{o\max}}{J_{YT}} \cdot (a - y_T) = \frac{325000}{93859,05} \cdot (24 - 11,12) \text{ MPa} \quad (3.8)$$

$$\underline{\underline{\sigma_{oII} = 44,51 \text{ MPa}}}$$

Výpočet bezpečnosti pravého profilu

$$k_{PP} = \frac{R_{mAl}}{\sigma_{oII}} = \frac{150}{44,51} = 3,37 \quad (3.9)$$

$$\underline{\underline{k_{PP} = 3,37}}$$

kde R_{mAL} [MPa]-mez pevnosti v tahu u Al profil. Dle tabulek 150 - 400 MPa.

Bezpečnost je relativně vysoká, avšak již nyní má profil tloušťku $t = 2 \text{ mm}$, což je standard například u okenních hliníkových profilů. Další zužování profilů je rizikové a například při kopnutí do dveřního rámu by mohlo dojít k nežádoucímu ohnutí.

3.2 Prosklená část

K výplni dveří bude použito kalené bezpečnostní sklo tloušťky 4 mm. Sklo bude tedy po nařezání, opracování hran a provedení nezbytných výkrojů či otvorů rovnoměrně zahřáno na teplotu okolo 600°C a posléze rychle ochlazeno studeným vzduchem. Při ochlazování zůstane střední část v příčném řezu teplá, kdežto vnější povrchy se rychle ochlazují. Tímto způsobem vzniknou na povrchu tlaková pnutí, zatímco uvnitř skla zůstává stav tažného (roztahujícího se) pnutí [13]. Tímto se zajistí, že i kdyby došlo k rozbití skla, což je vzhledem k tloušťce nepravděpodobné, se sklo rozpadne na velmi malé křehličky, které poranění velmi obtížně.

3.3 Připevnění skla

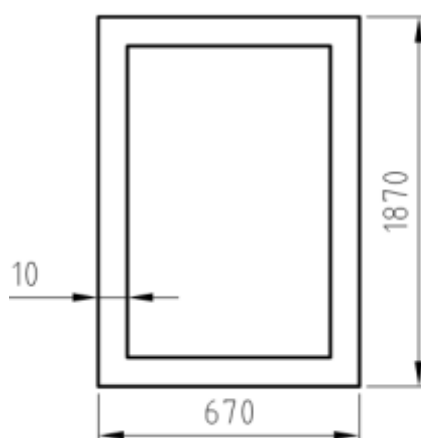
Sklo bude k hliníkovému rámu přilepeno pomocí tmelící hmoty Sikaflex[®]-256. Toto bezprimerové lepidlo se vyrábí k lepení předních skel automobilů. Parametry lepidla jsou dostačující a popsány v (tabulka 3.1).

Tabulka 3.1 – Parametry Sikaflex[®]-256 [18]

Barva	Černá
Hustota	1,2 kg/l
Mechanismus vytvrzení	Vzdušnou vlhkostí
Pevnost v tahu	7 N / mm ²
Prodloužení při přetržení	400 %
Pevnost v dalším trhání	11 N/mm
Pevnost ve smyku	5 N/mm ²

Výpočet únosnosti připevnění skla

Pro výpočet bude nutno vypočítat plochu lepidla (obr. 3.4) odvozenou z plochy, na kterou dosedá sklo do rámu, a poté díky znalosti pevnosti v tahu bude zjištěna hodnota teoretické únosnosti.



Obrázek 3.4 – Plocha lepidla

$$S_{\text{lepidlo}} = 1870 \cdot 670 - 1850 \cdot 650 = 50400 \text{ mm}^2 \quad (3.10)$$

$$F_{\text{lepidlo}} = S_{\text{lepidlo}} \cdot \sigma_{\text{lepidlo}} \cdot c_{\text{st/dyn}} \cdot c_{\text{tep}} = 10584 \text{ N} \quad (3.11)$$

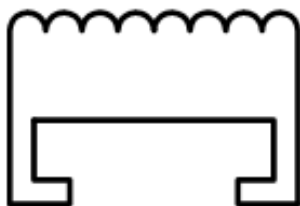
kde $c_{\text{st/dyn}}$ [-] – opravný koeficient zahrnující statické/dynamické namáhání,
 c_{tep} [-] – opravný koeficient zahrnující teplotní zatížení.

Tato hodnota je poměrně vysoká, ale v reálném projektu se jí nejspíš nedosáhne. Počítá to s naprosto přesným nanesením lepidla bez vzduchových bublin. Snížení

hodnoty by bylo možno docílit snížením plochy styku, to však nepřipadá v úvahu. Již nyní je hrana 10mm

3.4 Silikonová lišta

Dveře budou vybaveny silikonovou lištou (obr. 3.5) firmy GUMEX s.r.o. A to z důvodu bezpečnosti a omezení zranění při uzavření mezi dveře. Připevňuje se pomocí tvarového spoje, který zaručuje v případě potřeby snadnou výměnu.



Obrázek 3.5 – Tvar silikonové lišty [10]

3.5 Madlo

Pokud by došlo k výpadku elektrické energie, je nutno dveře otevřít ručně, a proto jsou dveře vybaveny madly. Dle vyhlášky musí být dvevní klika ve výšce 800 - 1200 mm od podlahy, obvyklá je výška 1050 mm. Takto bude také navrhnuť. Madlo je přivařeno k rámu dveří.

3.6 Spodní vodící lišta

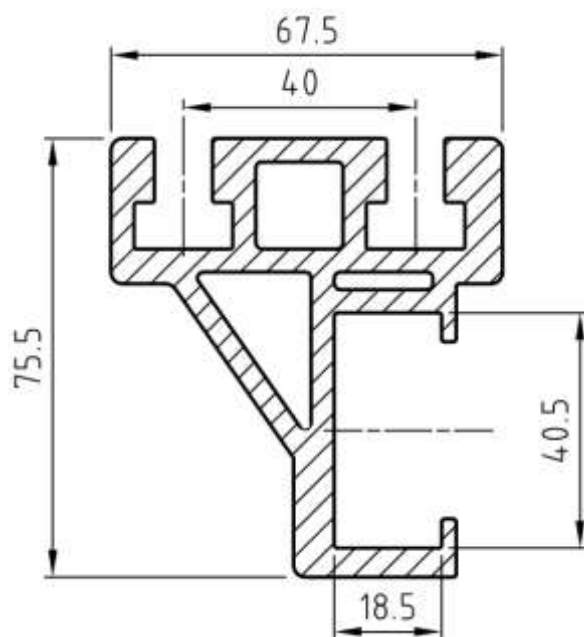
Na spodním profilu je znatelný negativní tvar vodící lišty. Ta bude připevněna k podlaze záštnými šrouby. Tímto se zajistí vedení pohybu dveří v dolní části dveří, a nebude možno vyklopení dveří. V případě uzavřených dveří bude přenášet poměrnou část síly vyvozenou opřením se (viz. kapitola 4.1 - Síla vyvolaná opírající se osobou).

4 NÁVRH MECHANISMU OTEVÍRÁNÍ

Mechanismus bude poháněn elektromotorem s převodovkou. Rotační pohyb bude přenášen na posuvný pomocí kola s negativním tvarem ozubeného řemene. Z řemene bude výkon přenesen na hybný profil, který bude připevněn šrouby k hornímu profilu dveřního rámu. Na hybný profil jsou připevněna kolečka, která umožňují valivý pohyb v nosném profilu celého dveřního systému. Na tento nosný profil jsou připevněny veškeré prvky, jako je motor s převodovkou, vratné kolo řemenového pohonu, boční dveřní desky a také uchycení dveřního systému do skříně vozu.

4.1 Nosný profil

Jedná se o hliníkový profil, který vychází z oficiálního tvaru kolejnice pro mnou zvolené kolečka (**kap. 4.2**). V horní části profilu jsou vyrobeny dvě T drážky, které budou sloužit k upevňování dalších prvků systému. Do této normalizované drážky zapadá tzv. kámen, což je matice. Díky této souhře je možné po celé délce umístit velké množství šroubových spojů.



Obrázek 4.1 – Řez nosného profilu

Určení zatížení nosného profilu

Profil bude zatížen ve třech základních směrech viz. obrázek 2.1. Z tohoto také vyplývají úroveň násobného zrychlení dle normy (tedy směr z , $x=3 \cdot g \cdot m \cdot s^{-2}$, $y=1 \cdot g \cdot m \cdot s^{-2}$). Pro získání hodnot hmotností budou použity modely součástí se zaokrouhlením na stovky gramů. Dveře jsou umístěny v zavřené poloze, a to proto, že pouze v tomto

momentu je možno se o dveře opřít. Dle normy [5] se také dveře testují v uzavřené poloze. Na nosný profil tedy působí:

- Hmotnost součástí v ose hřídele motoru (elektromotor s převodovkou, držák motoru, řemenové kolo, šroubové spoje) $m_{\text{motor}}=4,7$ kg.
- Hmotnost součástí v ose vratného řemenového kola (držák řemenového kola, řemenové kolo, čep, kluzné ložisko a šroubové spoje) $m_{\text{vkolo}}=1,1$ kg
- Hmotnost pohyblivých dveří na jedno kolečko (hliníkový rám, sklo, kolečka, hybný profil a šroubové spoje) $m_{\text{dveře}}=12,5$ kg.

Toto zatížení bude umístěno v poloze zavřených dveří, kdy je předpokládáno největší zatížení v místě pod motorem.

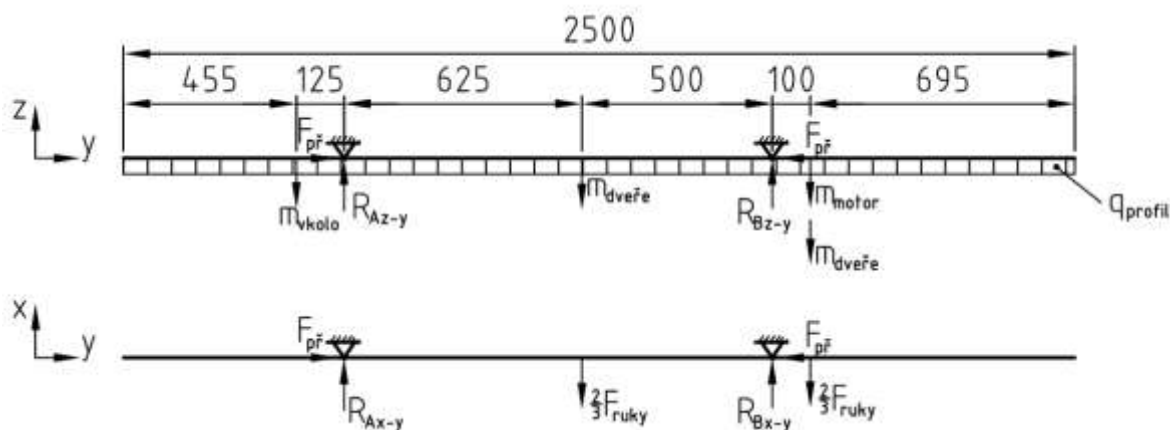
- Síla vyvolaná opírající se osobou $F_{\text{ruky}}=750$ N.

Jelikož se síla nachází ve dvou třetinách výšky dveří, bude předpokládáno se zatížením rovnému $\frac{2}{3}F_{\text{ruky}}$. Zbylé zatížení přeneseme spodní vodící lišta.

- Síla předpětí řemenového převodu $F_{\text{před}}=315$ N.
- Hmotností vlastního profilu. Jelikož není prozatím znám tvar profilu, bude se předpokládat hmotnost 10 kg na délce 2500 mm. Tedy bude uvažováno se spojitým zatížením q_{profil} [N/mm].

$$q_{\text{profil}} = \frac{10 \cdot 9,81}{2500} = 0,039 \approx 0,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (4.1)$$

Jelikož jsou vyčísleny působící síly, bude profil převeden na nosník (Obr. 4.1). Osy x-y-z jsou totožné s osami na obr. 2.1.



Obrázek 4.2 – Nosný profil s vyznačeným zatížením

Výpočet reakcí z-y:

$$\sum F_{iy} = 0 \quad [N] \quad (4.2)$$

$$F_{pred} - F_{pred} = 0 \quad [N]$$

$$\sum F_{iz} = 0 \quad [N] \quad (4.3)$$

$$3g \cdot m_{vkolo} - R_{Az-y} + 2 \cdot 3 \cdot g \cdot m_{dvere} - R_{Bz-y} + 3g \cdot m_{motor} + 3 \cdot q_{profil} \cdot 2500 = 0 \quad [N]$$

$$\sum M_{oAz-y} = 0 \quad [Nmm] \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} & -3 \cdot q_{profil} \cdot 580 \cdot \frac{580}{2} - 3g \cdot m_{vkolo} \cdot 125 + 3g \cdot m_{dvere} \cdot 625 - R_{Bz-y} \cdot 1125 + \\ & + 3g \cdot 1225 \cdot (m_{motor} + m_{dvere}) + 3 \cdot q_{profil} \cdot 1920 \cdot \frac{1920}{2} = 0 \quad [Nmm] \end{aligned}$$

Po úpravě:

$$R_{Bz-y} = \frac{-3 \cdot q_{profil} \cdot 580 \cdot \frac{580}{2} - 3g \cdot m_{vkolo} \cdot 125 + 3g \cdot m_{dvere} \cdot 625}{1125} + \quad (4.5)$$

$$+ \frac{3g \cdot 1225 \cdot (m_{motor} + m_{dvere}) + 3 \cdot q_{profil} \cdot 1920 \cdot \frac{1920}{2}}{1125} \quad [N]$$

$$R_{Bz-y} = \frac{-3 \cdot 0,04 \cdot 580 \cdot \frac{580}{2} - 3 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 125 + 3 \cdot 9,81 \cdot 12,5 \cdot 625}{1125} +$$

$$+ \frac{3 \cdot 9,81 \cdot 1225 \cdot (4,7 + 12,5) + 3 \cdot 0,04 \cdot 1920 \cdot \frac{1920}{2}}{1125} \quad N$$

$$\underline{\underline{R_{Bz-y} = 930,64 \text{ N}}}$$

Úpravou vzorce 4.2:

$$R_{Az-y} = 3g \cdot m_{vkolo} + 6g \cdot m_{dvere} - R_{Bz-y} + 3g \cdot m_{motor} + 3 \cdot q_{profil} \cdot 2500 \quad [N] \quad (4.6)$$

$$R_{Az-y} = 3 \cdot 9,81 \cdot 1,1 + 6 \cdot 9,81 \cdot 12,5 - 930,64 + 3 \cdot 9,81 \cdot 4,7 + 3 \cdot 0,04 \cdot 2500 \quad N$$

$$\underline{\underline{R_{Az-y} = 275,81 \quad N}}$$

Výpočet průběhu momentů z-y:

$$M_{oz-yI} = -3 \cdot q_{profil} \cdot 695 \cdot \frac{695}{2} = -3 \cdot 0,04 \cdot 695 \cdot \frac{695}{2} \quad Nmm \quad (4.7)$$

$$\underline{\underline{M_{oz-yI} = -28981,5 \quad Nmm}}$$

$$M_{oz-yII} = -3 \cdot q_{profil} \cdot 795 \cdot \frac{795}{2} - 3 \cdot g \cdot 100 \cdot (m_{dvere} + m_{motor}) \quad [Nmm] \quad (4.8)$$

$$M_{oz-yII} = -3 \cdot 0,04 \cdot 795 \cdot \frac{795}{2} - 3 \cdot 9,81 \cdot 100 \cdot (12,5 + 4,7) \quad Nmm$$

$$\underline{\underline{M_{oz-yII} = -88541,1 \quad Nmm}}$$

$$M_{oz-yIII} = -3 \cdot q_{profil} \cdot 1295 \cdot \frac{1295}{2} - 3 \cdot g \cdot 600 \cdot (m_{dvere} + m_{motor}) + \quad (4.9)$$

$$+ 500 \cdot R_{Bz-y} = -3 \cdot 0,04 \cdot 1295 \cdot \frac{1295}{2} - 3 \cdot 9,81 \cdot 600 \cdot (12,5 + 4,7)$$

$$+ 500 \cdot 930,64 \quad Nmm$$

$$\underline{\underline{M_{oz-yIII} = 60980,9 \quad Nmm}}$$

$$M_{oz-yIV} = -3 \cdot q_{profil} \cdot 580 \cdot \frac{580}{2} - 3 \cdot g \cdot 125 \cdot m_{vkolo} \quad [Nmm] \quad (4.10)$$

$$M_{oz-yIV} = -3 \cdot 0,04 \cdot 580 \cdot \frac{580}{2} - 3 \cdot 9,81 \cdot 750 \cdot 1,1 \quad Nmm$$

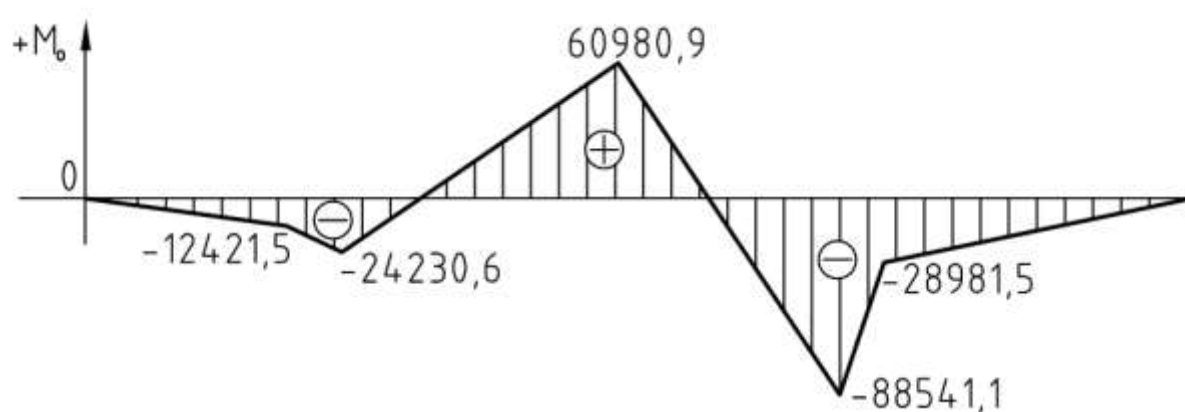
$$\underline{\underline{M_{oz-yIV} = -24230,62 \quad Nmm}}$$

$$M_{oz-yV} = -3 \cdot q_{profil} \cdot 455 \cdot \frac{455}{2} \quad [Nmm] \quad (4.11)$$

$$M_{oz-yV} = -3 \cdot 0,04 \cdot 455 \cdot \frac{455}{2} \quad Nmm$$

$$\underline{\underline{M_{oz-yV} = -12421,5 \quad Nmm}}$$

Průběh momentů z-y:



Obrázek 4.3 – Průběh momentů v osách z-y

Výpočet reakcí x-y:

$$\sum F_{iy} = 0 \quad [N] \quad (4.12)$$

$$F_{pred} - F_{pred} = 0 \quad [N]$$

$$\sum F_{ix} = 0 \quad [N] \quad (4.13)$$

$$-R_{Ax-y} + 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot F_{ruky} - R_{Bx-y} = 0 \quad [N]$$

$$\sum M_{oAx-y} = 0 \quad [Nmm] \quad (4.14)$$

$$\frac{2}{3} \cdot F_{ruky} \cdot 625 - R_{Bx-y} \cdot 1125 + \frac{2}{3} \cdot F_{ruky} \cdot 1225 = 0 \quad [Nmm]$$

Po úpravě:

$$R_{Bx-y} = \frac{\frac{2}{3} \cdot F_{ruky} \cdot 625 + \frac{2}{3} \cdot F_{ruky} \cdot 1225}{1125} \quad [N] \quad (4.15)$$

$$R_{Bx-y} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 750 \cdot 625 + \frac{2}{3} \cdot 750 \cdot 1225}{1125} \quad N$$

$$\underline{\underline{R_{Bx-y} = 822,22 \quad N}}$$

Úpravou vzorce 4.2:

$$R_{Ax-y} = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot F_{ruky} - R_{Bx-y} \quad [N] \quad (4.16)$$

$$R_{Ax-y} = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 750 - 822,22 \quad N$$

$$\underline{\underline{R_{Ax-y} = 177,78 \quad N}}$$

Výpočet průběhu momentů x-y:

$$M_{ox-yII} = -\frac{2}{3} \cdot F_{ruk_y} \cdot 100 \quad [Nmm] \quad (4.17)$$

$$M_{ox-yII} = -\frac{2}{3} \cdot 750 \cdot 100 \quad Nmm$$

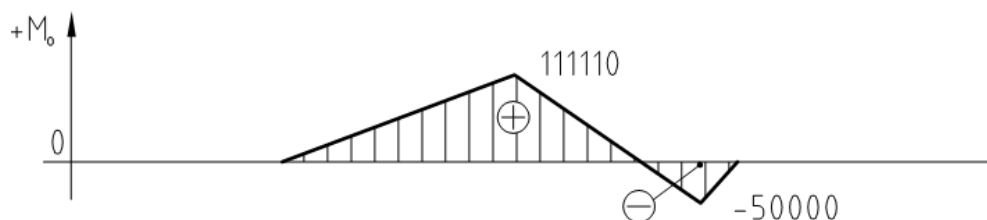
$$\underline{\underline{M_{ox-yII} = -50000 \quad Nmm}}$$

$$M_{ox-yIII} = -\frac{2}{3} \cdot F_{ruk_y} \cdot 600 + R_{Bx-y} \cdot 500 \quad [Nmm] \quad (4.18)$$

$$M_{ox-yIII} = -3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 750 \cdot 600 + 822,22 \cdot 500 \quad [Nmm]$$

$$\underline{\underline{M_{ox-yIII} = 111110 \quad Nmm}}$$

Průběh momentů z-y:



Obrázek 4.4 – Průběh momentů v osách z-y

Z obrázků průběhů grafu (obr. 4.3 a obr 4.4) vyplývají dvě krizová místa a to místo I a II. Proto bude proveden výpočet výsledného ohybového momentu v těchto místech.

$$M_{oII} = M_{oz-yII} + M_{ox-yII} = -50000 - 88541,1 \quad Nmm \quad (4.19)$$

$$\underline{\underline{M_{oII} = -138541,1 \quad Nmm}}$$

$$M_{oIII} = M_{oz-yIII} + M_{ox-yIII} = 111110 + 60980,9 = 172090,9 \quad Nmm \quad (4.20)$$

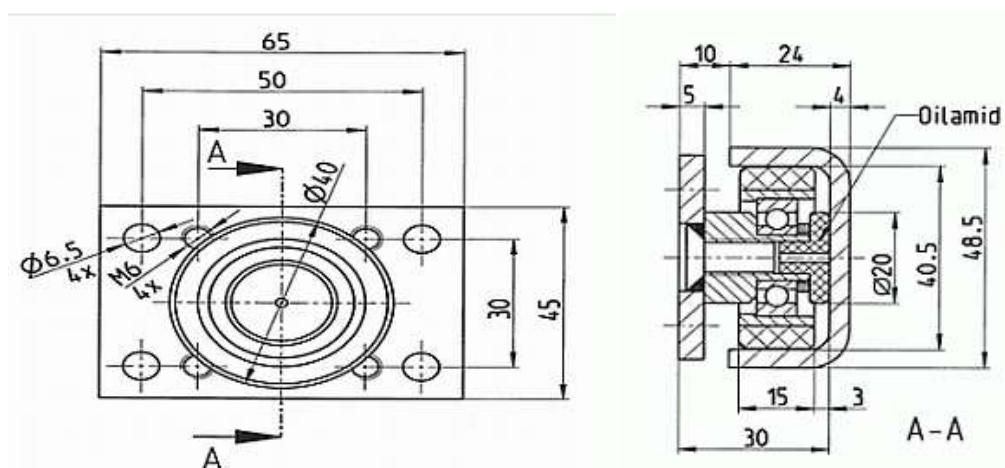
$$\underline{\underline{M_{oIII} = 172090,9 \quad Nmm}}$$

Jelikož je ohybový moment nižší než v případě pravého profilu (viz kapitola 3.1 a vzorec 3.2) nebude provedena kontrola ohybového napětí. Profil nosného profilu je mnohem složitější a mohutnější z důvodu upínání prvků. Bude však maximálně odlehčen s ohledem na šetření materiálem.

Hodnoty vypočtené v této kapitole budou použity pro další výpočty v práci.

4.2 Vodící kolečka

Jelikož je valivý pohyb mnohem výhodnější než posuvný, budou použity kolečka a to V 4000 AP/231.015.000 firmy Winkel [21]. Tyto kolečka snášejí jak radiální tak axiální síly (viz tabulka) a proto jsou ideální. Dále jsou kolečka opatřena deskou (Obr. 4.5) s připravenými otvory, které usnadní montáž.



Obrázek 4.5 – Rozměry koleček

Tabulka 4.1 – Parametry koleček

Typ kolečka/číslo produktu	V 4000 AP/231.015.000
Maximální radiální zatížení F_{Rmax}	600 N
Maximální axiální zatížení F_{Amax}	400 N
Snížení hodnoty zatížení při rychlosti 2 m/s	-20%
Hmotnost kolečka	0,2 kg

4.3 Návrh motoru s převodovkou

Dveře při zavírání mohou dle ČSN EN 14752 vyvinout maximální zavírací sílu $F_P=300$ N, a to jen v případě opětovného zavírání. Tedy k této hodnotě dochází nepravidelně, a to v případě, když se dveře nezavřou na první pokus. Dalším pokusem dveře vyvodí sílu F_P [N].

K této síle je potřeba přičíst odpor proti valení působící na kolečka.

$$F_{valení} = \frac{m_{dveřv}}{2} \cdot g \cdot \frac{e}{\frac{d_{kolečko}}{2}} = \frac{25}{2} \cdot 9,81 \cdot \frac{0,05}{\frac{62,5}{2}} = \underline{\underline{0,31 \text{ N}}} \quad (4.21)$$

kde $m_{dveřv}$ [kg] – hmotnost pohybující se části dveří, e [mm] - rameno valivého odporu pro ocel-ocel dle [8], $d_{kolečko}$ [mm] – průměr kolečka.

Vypočtená hodnota je poměrně malá vůči F_p . Bude však i tak zahrnuta do výpočtu.

Tedy síla vyvolaná při opakovaném zavírání:

$$F_{zavírání} = F_p + F_{valení} \quad [N] \quad (4.22)$$

$$F_{zavírání} = 300 + 0,31 = \underline{\underline{300,31 \text{ N}}}$$

Potřebný výkon při zavírání

$$P = F_{zavírání} \cdot v_{zavírání} \quad [W] \quad (4.23)$$

$$P = 300,31 \cdot 0,2 = \underline{\underline{60,062 \text{ W}}}$$

kde $v_{zavírání}$ [m/s] – rychlost pohybu dveří dle zadání.

Dle parametrů byl zvolen motor 9DCP(D)24-90-30 firmy DKM CO.,LTD [15]

$$P_{motor} = 90 \text{ W}$$

$$n_{motor} = 3000 \text{ min}^{-1}$$

$$U_{motor} = 24 \text{ V}$$

V bloku s převodovkou 9PBK-BH

$$i = 100$$

$$n_{převodovka} = 30 \text{ min}^{-1}$$



Obrázek 4.6 – Blok motoru s převodovkou [15]

4.4 Návrh ozubeného řemenového pohonu

Byl zvolen řemenový převod, z důvodu stálého chodu bez prokluzu a tichosti provozu. Nevýhodou může být neustále prodlužování řemene, to však u zatížení zamýšleného v projektu nebude tak drastické.

Pro výpočet řemenového pohonu bude využit Generátor návrhu ozubenými řemeny aplikace Autodesk Inventor Professional 2011.

Vstupní parametry generátoru:

Výkon - $P_{\text{motor}} = 90 \text{ W}$

Otáčky - $n_{\text{převodovka}} = 30 \text{ min}^{-1}$

Účinnost - $\eta_{\text{převod}} = 0,970$

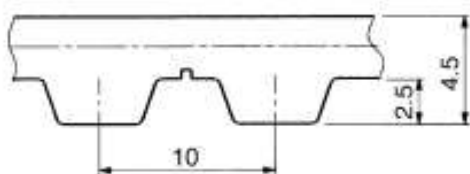
Provozní součinitel $C_p = 1,2$

Pro rovnoměrný moment, zatížený lehkými rázy při občasném používání 3-8 hodin denně.

Součinitel spolu zabírajících zubů $k_z = 0,65$

Bude uvažováno se záběrem pouze 65 % zubů.

Dále byl zvolen typ řemenu 16T10 x 3100 (šířka řemene 12mm a délka 3100mm).



Obrázek 4.7 – Ozubený řemen T10 [11]

Poslední hodnotou potřebnou k výpočtu jsou počty zubů u řemenic. Počet byl zvolen s ohledem na výslednou rychlost ozubeného řemene. Počet zubů u hnané i vratné řemenice je shodný, jelikož řemen slouží pouze pro převod rotačního pohybu na posuvný. Generátor vypočítává rozměry řemenic. Ty jsou zobrazeny na obr. 4.8.

Vlastnosti ozubené řemenice

Scénář návrhu: Průměr

Podíl výkonu: 1,000 ul

Typ příruby: Obě příruby

☐ Upravit rozměry

Rozměry

Zuby: 40 ul

b_f : 18,000 mm

P_b : 10,000 mm

D_p : 127,324 mm

D_0 : 125,324 mm

ϕ : 25,00 deg

h_g : 2,600 mm

b_w : 3,600 mm

r_b : 0,600 mm

r_t : 0,800 mm

h_f : 2,200 mm

w_f : 1,500 mm

OK Storno

Obrázek 4.8 – Rozměry ozubených řemenic

Tabulka 4.2 – Vypočtené výsledky

Rychlost řemenu v_f [ms^{-1}]	0,2 ms^{-1}
Obvodová síla F_{po} [N]	450 N
Odstředivá síla F_c [N]	0,003 N
Maximální zatížení větve řemenu F_{tmax} [N]	540 N
Předpětí řemenu bez zatížení F_t [N]	315 N

Byl proveden výpočet, který skončil úspěšně. Tedy navrhnutý řemen vyhovuje. Délka řemenu byla zvolena s ohledem na pohyb dveří a plně vyhovuje rozdílu vzdáleností krajních poloh dveří 750 mm.

4.5 Sponka na řemen

K přenosu energie z řemene na hybný profil bude použita sponka na řemen, která je připevněna šrouby k vodící liště, a řemen svírá ve tvarovém spoji. Délka sponky l_{sponka} = volena 135 mm s ohledem na výpočet řemene. Z výpočtu vyplývá, že na řemenici se záběrovým součinitelem $k_z = 0,65$ přeneseme výkon. Jelikož obvod řemenice:

$$O_{\text{řemenice}} = \pi \cdot D_p \quad [mm] \quad (4.24)$$

$$O_{\text{řemenice}} = \pi \cdot 127,324 = \underline{\underline{400 \text{ mm}}}$$

kde D_p [MPa] – maximální průměr řemenice

A zuby zabírají jen na polovině řemenice ponížené záběrovým součinitelem:

$$l_{\text{teor}} = \frac{O_{\text{řemenice}}}{2} \cdot k_z \quad [mm] \quad (4.25)$$

$$l_{\text{teor}} = \frac{400}{2} \cdot 0,65 = \underline{\underline{130 \text{ mm}}}$$

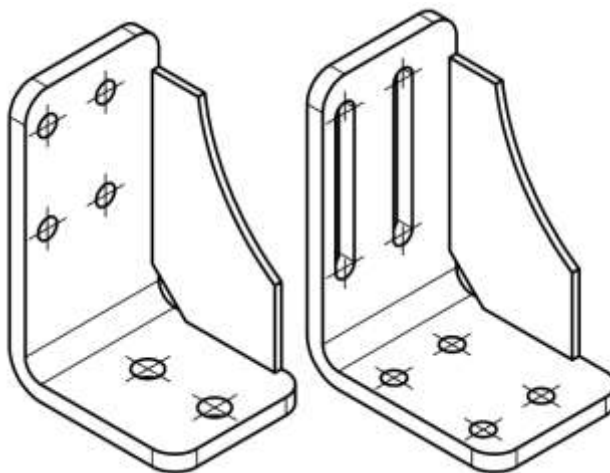
$$l_{\text{teor}} \leq l_{\text{sponka}} \quad [mm] \quad (4.26)$$

Teoretická délka sponky je menší než navržená, tedy síla bude přenesena.

5 NÁVRH UCHYCENÍ DVEŘNÍHO MECHANISMU

Jelikož se jedná o součást, která ponese celý mechanismus, musí se jednat o robustní avšak lehké řešení. Ikdyž většina prvků je vyrobena z hliníku, bude tento vyroben z oceli, kvůli zvýšenému zatížení. Dalším požadavkem je variabilní řešení ve vertikálním směru, aby bylo možno reagovat na nepřesnosti hrubé stavby. Ve dvou dalších hlavních směrech je možno posouvat díky T drážkám. Tím se zajistí tříosá variabilita.

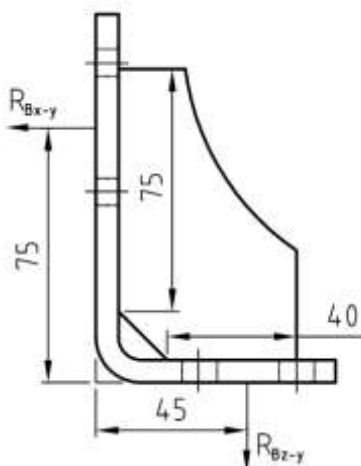
Uchycení se bude skládat ze dvou dílů (obr. 5.1) spojených čtyřmi šrouby. Jiné šrouby budou také sloužit k připevnění k hrubé stavbě a k nosnému profilu.



Obrázek 5.1 – Díly uchycení mechanismu

5.1 Zavedení zatížení úchyty

Úchyty budou přenášet síly působící na mechanismus na hrubou stavbu a v opačném směru. Síly působící na úchyty byly spočítány dříve v práci (kap. 4.1). Jako kritické vyšlo zatížení v podpoře B, tedy úchyt v místě B.



Obrázek 5.2 – Naznačení zatížení na úchytu

Síly působící na úchyt jsou tedy:

$$R_{Bz-y} = 930,64 \text{ [N]} \text{ v ose } Z$$

$$R_{Bx-y} = 822,22 \text{ [N]} \text{ v ose } X$$

5.2 Výpočet svaru na úchyty

Tyto síly vztažené ke středovému bodu spoje vytváří ohybový moment:

$$M_{ORBz-y} = R_{Bz-y} \cdot 75 \text{ [Nmm]} \quad (5.1)$$

$$M_{ORBz-y} = 930,64 \cdot 75 = \underline{\underline{69798 \text{ Nmm}}}$$

$$M_{ORBx-y} = R_{Bx-y} \cdot 45 \text{ [Nmm]} \quad (5.2)$$

$$M_{ORBx-y} = 822,22 \cdot 45 = \underline{\underline{36999,9 \text{ Nmm}}}$$

Tedy v místě ohybu profilu působí suma těchto momentů:

$$M_{OU} = M_{ORBz-y} + M_{ORBx-y} \text{ [Nmm]} \quad (5.3)$$

$$M_{OU} = 69798 + 36999,9 = \underline{\underline{106797,9 \text{ Nmm}}}$$

Zatížený průřez, který je dán t_u [mm] - tloušťkou úchyty a l_u [mm] – šířkou úchyty je zatížen M_{OU} [Nmm] a musí odolat napětí σ_{oU} [Nmm]:

$$\sigma_{oU} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_{oU}}{\frac{1}{6} \cdot l_u \cdot t_u^2} \text{ [MPa]} \quad (5.4)$$

$$\sigma_{oU} = \frac{106797,9}{\frac{1}{6} \cdot 70 \cdot 7^2} = \underline{\underline{186,81 \text{ MPa}}}$$

Výsledná bezpečnost je pak rovna:

$$k_u = \frac{R_{e11373}}{\sigma_{oU}} \text{ [-]} \quad (5.5)$$

$$k_u = \frac{320}{186,81} = \underline{\underline{1,71 \text{ [-]}}}$$

kde R_{e11373} [MPa] – mez pevnosti v kluzu pro ocel 11 373 dle [1].

Bezpečnost k_u [-] je vyhovující, avšak pro zajištění funkce i v krizových situacích bude úchyt vyztužen navařenou vzpěrou. Z tohoto důvodu byl volen materiál 11373, který zaručuje svařitelnost.

5.3 Výpočet svaru na úchytu

Vzpěra bude navařena na kraj úchytů. Obvykle by se umístila do středu úchytů, avšak jelikož na upevnění do skříně vozu se používá pouze jedna T drážka, je výhodnější umístit šrouby do středu úchytu a tím zajistit vyváženost úchytu. Na úchytu budou dva svary rozdílné délky. Pro výpočet bude použit kratší ze dvojice, na který bude působit větší namáhání.

Jako namáhání bude použit ohybový moment M_{oU} [Nmm] působící na úchyt soustředěný na svar. Svar bude použit prodloužený $\frac{1}{2}$ V - svar volený dle ST [1].

Výsledné napětí je pak rovno:

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_{oU}}{\frac{t_{sv} \cdot l_{sv}^2}{6}} \text{ [MPa]} \quad (5.6)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{106797,9}{\frac{3 \cdot 40^2}{6}} = \underline{\underline{133,49 \text{ MPa}}}$$

kde t_{sv} [mm] – tloušťka navařené vzpěry a l_{sv} [mm] – délka činného svaru na vzpěře.

Jelikož materiál svaru by měl mít srovnatelné nebo lepší vlastnosti než svařovaný materiál bude pro kontrolu bezpečnosti použita mez pevnosti v kluzu materiálu 11373 R_{e11373} [MPa].

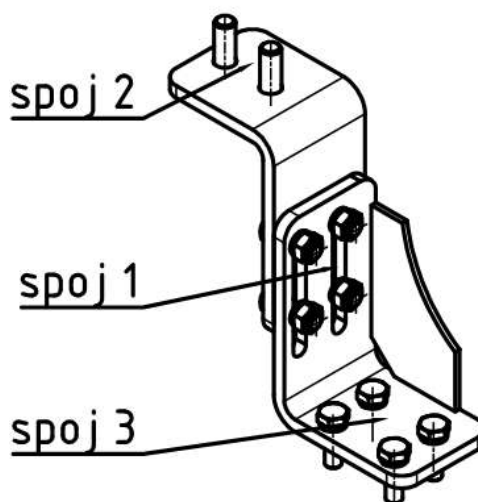
$$k_{sv} = \frac{R_{e11373}}{\sigma_{\perp}} \text{ [-]} \quad (5.7)$$

$$k_{sv} = \frac{320}{133,49} = \underline{\underline{2,39}}$$

Bezpečnost vyhovující.

5.4 Výpočet šroubových spojení na úchytu

Na úchytu budou tři šroubové spoje. Styl výpočtů pro jednotlivé šroubové spoje je obdobný a postup se opakuje. Proto bude proveden pouze jeden vybraný spoj. Bude počítán spoj 1 viz. obr.5.3.



Obrázek 5.3 – Vyznačení šroubových spojů

Výpočet šroubového spoje 1

Pro výpočet bude použit Základní výpočet šroubového spoje dle Autodesk Wikihelp [6].

Jedná se o úchyt v bodě B (obr. 4.1) zatížený v **ose Z** silou $R_{Bz-y}[N]$ a v **ose X** $R_{Bx-y}[N]$. Matice použité pro T drážky v nosném profilu mají otvor M8x1,25. Hodnoty potřebné pro výpočet jsou dle tabulek [1]:

velký průměr závitu $d = 8 \text{ mm}$,
střední průměr závitu $d_2 = 7,188 \text{ mm}$,
malý průměr závitu $d_3 = 6,466 \text{ mm}$,
stoupaní závitu $P_{závit} = 1,5 \text{ mm}$.

Pracovní síla $F_{\max}[N]$ má tedy složky $R_{Bz-y}[N]$ a $R_{Bx-y}[N]$, působící na šroubový spoj. Síla musí zajistit přenos tečné síly třením spojovaných materiálů. Rovněž je ovlivněna požadavkem na těsnost vyjádřenou součinitelem těsnosti spoje $\psi = 1,25$ zvoleného dle [14]. Síla bude rozdělena rovnoměrně na jednotlivé šrouby. Počet šroubů je zvolen $i_s = 4$. Součinitel tření mezi spojovanými plochami zvolen $f_{\text{plochy}} = 0,17$ dle [14].

Pracovní síla F_{\max} [N] je dána:

$$F_{\max} = \frac{\psi}{i_s} \cdot \left(F_a + \frac{F_{ts}}{f_{plochy}} \right) = \frac{\psi}{i_s} \cdot \left(R_{Bx-y} + \frac{R_{Bz-y}}{f_{plochy}} \right) \quad [\text{N}] \quad (5.8)$$

$$F_{\max} = \frac{1,25}{4} \cdot \left(822,22 + \frac{930,64}{0,17} \right) = \underline{\underline{1967,68 \text{ N}}} \quad (5.9)$$

Pracovní sílu F_{\max} [N] je potřeba přepočítat na předepínací sílu F_o [N], která bere v úvahu pružnou poddajnost šroubů a přírub prostřednictvím konstant průtažnosti $c_1 + c_2$.

$$F_o = F_{\max} - \left(\frac{c_2}{c_1 + c_2} \right) \cdot \frac{F_a}{i_s} \quad [\text{N}] \quad (5.10)$$

Je potřeba provést mezivýpočty:

$$c_1 = c_{10} + (1 - n_s) \cdot c_{20} = 9,12 \cdot 10^{-5} + (1 - 0,5) \cdot 1,07 \cdot 10^{-6} \quad [\text{MPa}] \quad (5.11)$$

$$\underline{\underline{c_1 = 9,1735 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}}}$$

$$c_2 = n_s \cdot c_{20} = 0,5 \cdot 1,07 \cdot 10^{-6} \quad [\text{MPa}] \quad (5.12)$$

$$\underline{\underline{c_2 = 5,35 \cdot 10^{-7} \text{ MPa}}}$$

$$c_{10} = \frac{L_s + 0,8d_3}{E_1 + \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}} = \frac{14 + 0,8 \cdot 6,466}{2,1 \cdot 10^5 + \frac{\pi \cdot 7,188^2}{4}} \quad [\text{MPa}] \quad (5.13)$$

$$\underline{\underline{c_{10} = 9,12 \cdot 10^{-5} \text{ MPa}}}$$

$$c_{20} = \frac{L_s}{E_2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\left(1,5d_3 + \frac{L_s}{a_s} \right)^2 - 1,05d_3^2 \right)} \quad [\text{MPa}] \quad (5.14)$$

$$c_{20} = \frac{14}{2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\left(1,5 \cdot 6,466 + \frac{14}{10} \right)^2 - 1,05 \cdot 6,466^2 \right)} \quad \text{MPa}$$

$$\underline{\underline{c_{20} = 1,07 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}}}$$

Kde n_s [-] – součinitel zavedení síly dle [6], L_s [mm] – šířka spojovaného materiálu, a_s [-] – konstanta pro materiál pro ocel dle [6], E_1 a E_2 [MPa] – modul pružnosti pro ocel.

Po dosazení do (5.10):

$$F_o = 1967,68 - \left(\frac{5,35 \cdot 10^{-7}}{9,1735 \cdot 10^{-5} + 5,35 \cdot 10^{-7}} \right) \cdot \frac{822,22}{4} \quad \text{N}$$

$$\underline{\underline{F_o = 1966,48 \text{ N}}}$$

Rozdíl mezi pracovní silou F_{\max} [N] a předepínací silou F_o [N] je minimální a to z důvodu minimální šířky spojovaného materiálu.

Šroub je dále zatížen od momentu utahení matice M_U [Nmm] na krut. Pro výpočet utahovacího krouticího momentu je potřeba vyčíslit:

Úhel stoupání závitu:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{P_{\text{závit}}}{\pi \cdot d_2} \quad [^\circ] \quad (5.15)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{1,25}{\pi \cdot 7,188} = 0,055 \Rightarrow \underline{\underline{\gamma = 3,168^\circ}}$$

Třecí úhel na závitu:

Šroub bude použit ocelový zinkovaný nemazaný. Pro tento typ je součinitel tření $f_t = (0,14 \div 0,25)$ [14]. Je zvolena hodnota $f_t = 0,22$, úhel profilu metrického závitu je $\beta = 60^\circ$.

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{f_t}{\cos \frac{\beta}{2}} \quad [^\circ] \quad (5.16)$$

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{0,22}{\cos \frac{60}{2}} = 0,254 \Rightarrow \underline{\underline{\varphi' = 14,254^\circ}}$$

Při výpočtu utahovacího momentu M_u (5.17) se překonává moment tření na závitu M_{tz} určený vztahem (5.18) a moment tření pod hlavou šroubu M_{tm} (5.19).

Platí tedy, že:

$$M_u = M_{tz} + M_{tm} \quad [\text{Nmm}] \quad (5.17)$$

Moment tření na závitu:

$$M_{tz} = F_o \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \gamma) \cdot \frac{d_2}{2} \quad [\text{Nmm}] \quad (5.18)$$

$$M_{tz} = 1966,48 \cdot \operatorname{tg}(14,254 + 3,168) \cdot \frac{7,188}{2} = \underline{\underline{2217,81 \text{ Nmm}}}$$

Moment tření pod hlavou šroubu:

$$M_{tm} = F_0 \cdot f_m \cdot \frac{s + D_d}{4} \text{ [Nmm]} \quad (5.19)$$

$$M_{tm} = 1966,48 \cdot 0,2 \cdot \frac{13 + 8,4}{4} = \underline{\underline{1203,75 \text{ Nmm}}}$$

kde $f_m[-]$ - součinitel tření mezi hlavou šroubu a podložkou [14], $s[\text{mm}]$ – jmenovitý rozměr matice, $D_d[\text{mm}]$ – průměr díry pro šroub.

Výsledný utahovací moment:

$$M_u = 2217,81 + 1203,75 = \underline{\underline{3421,56 \text{ Nmm}}} \quad (5.20)$$

Namáhání šroubu v tahu:

$$\sigma_{Tah} = \frac{F_0}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \text{ [MPa]} \quad (5.21)$$

$$\sigma_{Tah} = \frac{1966,48}{\frac{\pi \cdot 6,466^2}{4}} = \underline{\underline{59,89 \text{ MPa}}}$$

Namáhání šroubu v krutu:

$$\tau_{Mt} = \frac{M_{tz}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \text{ [MPa]} \quad (5.22)$$

$$\tau_{Mt} = \frac{3421,56}{\frac{\pi \cdot 6,466^3}{16}} = \underline{\underline{64,46 \text{ MPa}}}$$

Výpočet redukovaného napětí σ_{red} (4.31) podle hypotézy HMM:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_{Tah}^2 + 3 \cdot \tau_{Mt}^2)} \text{ [MPa]} \quad (5.23)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{(59,89^2 + 3 \cdot 64,46^2)} = \underline{\underline{126,6 \text{ MPa}}}$$

Materiál na výrobu šroubů M8x1,25 je třídy pevnosti 4.8. Tento materiál má mez kluzu v tahu $R_e = 320 \text{ MPa}$ [3].

Výpočet statické bezpečnosti:

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} \quad [-] \quad (5.24)$$

$$k_s = \frac{320}{126,6} = \underline{\underline{2,53}} > 1,5$$

Bezpečnost plně vyhovuje standardní strojařské bezpečnosti.

Jelikož rozsah práce nedovoluje uvedení výpočtu ostatních šroubových spojení, bude použito pro ostatní spoje šrouby M8x1,25 [mm]. Pravděpodobně dojde k mírnému předimenzování spojů, avšak spoje budou na straně bezpečnosti stejně jako v případě spoje v místě 1.

6 ZÁVĚR

V této diplomové práci bylo navrženo křídlo dveří, pohon mechanismus pohonu, nosný prvek a úchyty do skříně vozu. Byly provedeny jak návrhové, tak bezpečnostní výpočty. Práce se zabývala stěžejními prvky celku a ty byly zkontrolovány a plně vyhovují. Zadání bylo kompletně splněno. Na jednotlivých částech celku by bylo možno provedeno více návrhových a kontrolních výpočtů, avšak to velikost práce nedovoluje.

7 LITERATURA

Knihy a příručky:

- [1] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Praha: ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [2] DRASTÍK, F. *Strojnické tabulky pro konstrukci a dílnu*. 1. dotisk. Praha: Montanex a.s., 2002. 722 s. ISBN 80-85780-95-X.
- [3] DEJL, Z. *Konstrukce strojů a zařízení I-spojovací části strojů* Ostrava: Montanex a.s., 2000. 225s. ISBN 80-7225-018-3.

Normy:

- [4] *Železniční aplikace - Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel: Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy)*. 11/2010.
- [5] ČSN EN 14752. *Železniční aplikace - Boční vstupní systémy*. Český normalizační institut, 8/2006.

Internet:

- [6] Autodesk Wikiphelp: Základní výpočet šroubového spoje. *Wikiphelp* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://wikiphelp.autodesk.com/Inventor/csy/2012/Help/0073-Aplikace73/0742-P%C5%99%C3%ADru%C4%8Dka742/0743-Spoje743/0811-Pohybliv811/0838-Gener%C3%A1to838/0839-V%C3%BDpo%C4%8Dtov839/0840-Z%C3%A1kladn%C3%AD840>.
- [7] *ALUPA: Zakázková výroba hliníkových profilů* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.alupa.cz/produkty/ostatni-sortiment/vyroba-hlinikovych-profilu.htm>.
- [8] *ConVERTER: Valivé tření (valivý odpor) Úvod > Tabulky > Valivé tření* [online]. © 2000-2007 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>.
- [9] *Dowaldwerke GmbH Systems for Rail Vehicles: Fire-proof Equipment* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.griessbach-gruppe.de/com-gbbr/index.php?nid=2&nid2=4>.
- [10] *GUMEX: Profily na míru* [online]. 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.gumex.cz/html/profily-na-miru.html?d=151>.

- [11] *Haberkorn: Ozubené řemeny* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/files/file/pohonne-systemy/pohony-ozubenymi-remeny/ozubene-remeny/g9.pdf>.
- [12] *IFE Company: Brochures* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: http://www.ife-doors.com/en/company/downloads_2/prospekte/downloadsprospekte.jsp.
- [13] *ISOTHERM: kalená bezpečnostní skla* [online]. © 2007 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.isoetherm.cz/isoetherm.php?go=katalog&typ=2>
- [14] *Mitcalc: Předepjatý šroubový spoj. Mitcalc* [online]. © 2003-2011 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.cz/doc/boltcon/help/cz/boltcontxt.htm>.
- [15] *Motory-převodovky: DC pohon s čelní převodovkou 90W* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.motory-prevodovky.cz/dc-pohon-s-celni-prevodovkou-90w>.
- [16] *Pars komponenty: výrobní program-dveře* [online]. © 2009 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.parskomponenty.cz/dvere.php?mutace=cz>.
- [17] SIEMENS. *Konstrukce moderních kolejových vozidel: 9. Přednáška Dveře, okna*. Ostrava, 2012.
- [18] *SIKA: Sikaflex® -256* [online]. 9/2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://cz01.webdms.sika.com/files/show.do?documentID=1177>.
- [19] *Tapety-videa blog* [online]. 2010 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://tapety-videa.blog.cz/galerie/mhd/tramvaje/obrazek/62480765>.
- [20] *Technet CZ* [online]. 8. 5. 2009 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/foto.aspx?foto1=RJA2af280_IMG_6031.
- [21] Winkel: *Innovation in motion*. [online]. 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.winkel.de/cz/vyrobky/komponenty/kombinovane-kladky/kombinovane-kladky-vulkolan/kombinovana-kladka-vulkolan-typ-v-6250-p/rozmery/>

Použitý software:

Microsoft Office Word 2007

Microsoft Office Powerpoint 2007

Autodesk AutoCAD 2011

Autodesk Inventor Professional 2011

8 SEZNAM PŘÍLOH

<u>Název</u>	<u>Označení</u>	<u>Formát</u>
DVEŘE KOMPLET	ben300_dipl	A0
RÁM DVEŘÍ	ben300_dipl_01	A2
ÚCHYT_1	ben300_dipl_02	A3
HYBNÝ PROFIL	ben300_dipl_07	A3
UCHYCENÍ MOTORU	ben300_dipl_08	A3